

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

ÉVALUATION DE LA RESSOURCE EN EAU AU QUÉBEC,  
LE CAS DU BASSIN VERSANT DE LA RIVIÈRE PETITE NATION

MÉMOIRE  
PRÉSENTÉ  
COMME EXIGENCE PARTIELLE  
DE LA MAÎTRISE EN GÉOGRAPHIE

PAR  
ETIENNE JARRY-BOILEAU

NOVEMBRE 2014

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENT

Ce mémoire n'aurait pas été possible sans l'aide et le support de certaines personnes qui m'ont encouragé et soutenu tout au long du parcours.

Je désire particulièrement remercier mon directeur de maîtrise, M. Mohamed Berraja, dont l'écoute, les conseils et les très grandes connaissances sur le sujet, m'ont permis d'écrire ce mémoire. Merci à Imad Lekouch pour sa patience et son expertise.

Merci à mes parents pour leur soutien constant et leur confiance dans ma capacité de poursuivre des études supérieures. Merci aussi à ma sœur Véronique qui, malgré son côté bourru, me montre continuellement son amour.

Merci à mes amis du département de géographie de l'UQAM; Jean-Marc Adjizian, Albert Chifoi, Nancy Desmarais ainsi que Nancy Horth, pour leurs conseils et leur écoute. Les nombreux cafés en auront valu la peine.

Merci aussi à mes collègues de travail; Daniel Abélard, Julien Martel, Damien Swiatek, Withaker Thach, Stoyan Toshev, sans qui je n'aurais pu accomplir ce projet. Encore désolé pour mes absences!

Merci au personnel de l'Organisme de bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon de m'avoir donné la possibilité ainsi que les outils pour réaliser cette étude.

Merci à, Jean-François Lemay, Jonathan Robidoux et Mathieu Sirois pour votre amitié depuis de nombreuses années.

Un merci particulier à ma conjointe Irina Marinescu dont le soutien constant m'a permis de rédiger ce mémoire.

Un dernier merci à mon grand-père Marcel Jarry, merci pour tout!

Merci aussi à toi qui lit ce mémoire, je ne l'aurai pas écrit pour rien.



## TABLES DES MATIÈRES

REMERCIEMENT.....	i
TABLES DES MATIÈRES.....	iii
LISTE DES FIGURES.....	viii
LISTE DES TABLEAUX.....	x
LISTE DES ANNEXES .....	xi
LISTE DES SYMBOLES ET ACRONYMES.....	xii
RÉSUMÉ .....	xiv
MOTS CLÉS.....	xv
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE I .....	4
Conditions générales dans bassin versant Petite Nation.....	4
1.1. Description du milieu .....	4
1.1.1. Position géographique .....	4
1.2. Géologie, pédologie et géomorphologie. ....	6
1.2.1 Socle rocheux.....	6
1.2.2.Géomorphologie et relief.....	7
1.3. Portrait hydrique.....	11

1.3.1. Stations hydrométriques .....	12
1.3.2. Indice de Gravelius .....	15
1.3.3. La densité de drainage.....	16
1.4. Eau souterraine.....	18
1.5. Bandes riveraines.....	18
1.6. Espèces envahissantes.....	19
1.7. Milieux humides.....	20
1.8. Climat.....	24
1.9. Couvert végétal .....	24
1.10 Secteur forestier .....	25
1.11. Changements dans le paysage du bassin versant la Petite Nation.....	27
1.12..Évolution de la gestion de l'eau au Québec.....	30
1.12.1. Historique du plan directeur de l'eau .....	30
CHAPITRE II .....	34
Méthodologie de la recherche.....	34
2.1 Analyse des débits.....	34
2.1.1. Période d'étiage .....	36
2.2.2. Module interannuel .....	37
2.3.1. Choix des lois statistiques .....	39
2.3.2. Test d'ajustement des lois de probabilité .....	39

2.3.2.4.Choix de ces trois lois.....	41
2.4. Extrapolation des données.....	42
2.5. Critères Aic, Bic .....	43
2.6. Tests d'hypothèse.....	44
2.7 Calcul des débits à l'embouchure .....	45
2.8 Calcul des débits d'étiages .....	45
CHAPITRE III.....	48
Analyse de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation.....	48
3.1. Climat du bassin versant de la rivière Petite Nation .....	49
3.2. Précipitation dans le bassin versant de la rivière Petite Nation.....	50
3.3. Le module interannuel (Qan).....	53
3.4 Le coefficient mensuel des débits (Cq).....	55
3.5 Laminage dans le bassin versant .....	57
3.6 Observations des débits.....	60
3.7. Modélisation avec le logiciel HYFRAN .....	73
3.7.1. Tests d'hypothèses.....	73
3.7.2. Calcul des valeurs caractéristiques .....	75
3.8. Analyse fréquentielle des mesures de débits de la station 040406 .....	76
3.8.1. Critères Aic et Bic .....	77
3.8.2 Utilisation de la loi log normale.....	81

3.9. Extrapolation à l'exutoire .....	84
3.10. Analyse des débits d'étiage .....	88
3.11. Fréquence des débits d'étiages .....	94
3.12. Modélisation des débits d'étiage avec Hyfran .....	101
CHAPITRE IV .....	105
Conclusion et recommandations .....	105
4.1. Récapitulation des analyses effectuées .....	105
4.1.1. Portrait du Bassin versant .....	105
4.1.3 Extrapolation des données de débits .....	106
4.1.4. Analyse des débits extrêmes par décennie .....	107
4.2. Limites et recommandations .....	108
4.2.1. Limites territoriales .....	108
4.2.2. Limites et contraintes financières .....	110
4.2.3. Limites de la modélisation avec HYFRAN .....	112
4.3. Avenues d'études .....	113
4.4. Recommandations .....	114
4.4.1. Augmentation du nombre de stations de mesure .....	114
4.4.2. Compréhension des extrêmes .....	115
4.4.3. Modélisation possible .....	116
4.5 Possibilités futures .....	117

ANNEXE A.1. ....	119
ANNEXE A.2. ....	121
ANNEXE B. ....	122
ANNEXE C. ....	123
ANNEXE D. ....	124
ANNEXE E. ....	125
ANNEXE F. ....	126
RÉFÉRENCES. ....	129



## LISTE DES FIGURES

Figure 1.1 : Modèle numérique de terrain du bassin versant Petite Nation.....	10
Figure 1.2:Profil en long du bassin versant Petite Nation .....	14
Figure 1.3 : Réseau hydrographique du bassin versant Petite Nation .....	17
Figure 3.1. : Précipitations mensuelles pour la période : 2001-2007 .....	50
Figure 3.2 : Débits vs précipitations dans le bassin versant Petite Nation .....	52
Figure 3.3 : Coefficient mensuel du débit pour le bassin versant de la rivière Petite Nation .....	56
Figure 3.4 : Débit journalier station 040406 (1969-2007) .....	60
Figure 3.5 : Modélisation des débits maximums avec le logiciel HYFRAN (1969-2007)...	61
Figure 3.6 : Probabilité des débits maximums à la station 040406 (1969-2007).....	62
Figure 3.7 : Fréquence des débits maximums à la station 040406 (1969-2007).....	65
Figure 3.8 : Fréquence des débits maximums années 70 .....	66
Figure 3.9 : Fréquence débits maximums années 80.....	67
Figure 3.10 : Fréquence débits maximums années 90.....	69
Figure 3.11 : Fréquence débits maximums années 2000.....	70
Figure 3.12 : Débits pour le mois de mai 1972.....	72
Figure 3.13 : Modélisation des débits à la station 040406 (1969-2007) à l'aide des lois; LN, EV, LP3 .....	79



Figure 3.15 : Modélisation à l'exutoire avec le logiciel Hyfran (1969-2007) .....	87
Figure 3.16 : Minimum annuel pour la période 1969-2007 .....	92
Figure 3.17 : Moyenne des minimums mensuels pour la période 1969-2007 .....	93
Figure 3.18 : Fréquences des débits d'étiages à la station 040406 (1969-2007).....	95
Figure 3.18 : Fréquences des débits d'étiages pour la décennie 1970 à la station 040406 .....	96
Figure 3.20 : Fréquences des étiages pour la décennie 1990 pour la station 040406 .....	98
Figure 3.21 : Fréquences des étiages pour les années 2000 à 2007 pour la station 040406 .....	99
Figure 3.22 : Débits minimums par jour pour le mois d'octobre 2002 enregistrés à la station 040406 .....	100
Figure 3.22 : Modélisation graphique des débits d'étiages 1,001-1000 ans avec HYFRAN des débits de la station 040406 (1969-2007) .....	104

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Superficies des sous-bassins (RPNS 2011) .....	11
Tableau II : Coefficient de ruissellement pour différentes couvertures du sol (Noury 2005) .....	53
Tableau III : Débits (Q) moyen mensuel et interannuel (Qm et Qan) en m <sup>3</sup> /sec (1969- 2007) .....	54
Tableau IV : Coefficient mensuel des débits pour le bassin versant Petite Nation.....	55
Tableau V : Test d'hypothèse pour vérifier le caractère aléatoire de l'échantillon des débits maximums de la rivière Petite Nation pour la période 1969-2007.....	74
Tableau VI : Critères AIC ET BIC de l'échantillon .....	78
Tableau VII : Résultat de l'extrapolation des débits maximums avec la loi log normale....	82
Tableau VIII : Caractéristiques statistiques de la loi log normale ainsi que de l'échantillon des débits enregistrés à la station 040406 (1969-2007) .....	83
Tableau IX : Modélisation des débits à l'exutoire à l'aide du logiciel HYFRAN .....	85
Tableau X : Étiage du bassin versant Petite Nation .....	91
Tableau XI : Choix du modèle statistique .....	102
Tableau XII : Extrapolation des données d'étiage avec la loi log normale (1969-2007) ..	103
Tableau XIII : Caractéristiques des paramètres de la loi log normale et de l'échantillon des données de débits à la station 040406 (1969-2007) .....	103

## LISTE DES ANNEXES

A1 : Classification de Litynski.....	119
A2 : Carte de la classification de Litynski (2002).....	121
ANNEXE B .....	122
Cartographie des bassins versants du Québec (MDDEFP 2010).....	122
ANNEXE C .....	122
Classification des barrages présents dans le bassin versant Petite Nation .....	123
ANNEXE D .....	124
Cartographie des barrages de castors répertoriés dans le bassin versant Petite Nation (RPNS 2012) .....	124
ANNEXE E .....	125
Plan directeur de l'eau en six étapes ( Gangbazo 2011) .....	125
ANNEXE F.....	126
Tableau des débits maximums pour la période 1969-2007 (CEHQ 2011).....	126

## LISTE DES SYMBOLES ET ACRONYMES

AIC : Akaike Information Criterion

BAPE : Bureau d'Audiences Publiques sur l'Environnement

BIC : Bayesian Information Criterion

EV : Loi de Gumbel

GIEBV : Gestion Intégrée de la ressource en Eau par Bassin Versant

HYFRAN : HYdrological FREquency ANalysis

Km : Kilomètre

Km<sup>2</sup> : Kilomètres carrés

LN : Loi Log-Normale

M<sup>3</sup>/sec : mètres cubes par seconde

MDDEFP : Ministère du Développement durable de l'Environnement, de la Faune et des Parcs

MNT : Modèle Numérique de Terrain

MRNF : Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec

MRC : Municipalité Régionale de Comté

OBV : Organisme de Bassin Versant

PDE : Plan Directeur de l'Eau

Q; Probabilité de non-dépassement

RPNS : Rouge, Petite Nation, Saumon

T : Temps de retour

Xt : Débits en  $\text{m}^3/\text{sec}$

LP3 : Loi Log Pearson Type 3



## RÉSUMÉ

La question de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant (GIEBV) est relativement jeune au Québec. Ce n'est qu'en 2002 que le Québec s'est doté d'une politique nationale de l'eau qui adoptait l'approche de la gestion intégrée par bassin versant. La *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection* adoptée en 2009 est venue confirmer ce mode de gestion et consolider l'existence des organismes de bassin versant. Cette nouvelle approche constitue l'assise de l'étude approfondie faisant l'objet de ce mémoire.

Ce mémoire vise à comprendre, dans le contexte québécois de la GIEBV, la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation, en utilisant l'analyse ainsi que la caractérisation des paramètres physiographiques, hydro-climatiques, en plus de l'utilisation du sol. Des traitements statistiques des données hydrologiques seront appliqués dans l'optique de comprendre les changements éventuels au niveau de la ressource en eau dans ce bassin versant.

Des interpolations ainsi que des extrapolations des débits extrêmes seront effectuées dans le but d'évaluer les variations des extrêmes dans le bassin versant Petite Nation. Ce mémoire vise principalement à contribuer à l'applicabilité de la gestion de la ressource en eau dans le cadre du Plan directeur de l'Eau (PDE) de l'OBV RPNS. Il vise aussi à discuter des limites de l'application de la loi adoptée en 2009.



## MOTS CLÉS

Bassin versant, Petite Nation, ressource en eau, PDE, GEIBV, HYFRAN, débits, statistique, crues, étiages, RPNS.



## INTRODUCTION

Un homme peut passer plusieurs semaines sans manger, mais il ne peut passer que quelques jours sans boire. L'eau est donc une ressource essentielle à la vie sur terre. Cette ressource, bien que renouvelable, reste fragile puisque l'homme l'utilise de plus en plus et la pollue également à un rythme effarant. L'importance de la ressource en eau au Québec n'est plus à démontrer. Avec, en outre, les immenses complexes hydroélectriques que la province possède, il est primordial d'avoir une gestion efficace et complète de cette ressource.

À la suite de l'adoption de la *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection* le 11 juin 2009, des organismes de bassin versant tels que nous les connaissons actuellement furent créés pour gérer efficacement la ressource en eau dans les bassins versants de la province. Ces organismes, bien que récemment formés, sont en train de devenir les acteurs les plus importants dans la gestion écoresponsable de la ressource en eau ainsi que dans l'implication communautaire au niveau de la qualité de l'eau.

Les organismes de bassin versant sont des organismes sans but lucratif, sous la direction des MRC ainsi que des municipalités présentes sur le territoire. Ils comprennent des représentants de tous les acteurs reliés à l'eau dans le bassin versant, à partir des MRC jusqu'aux utilisateurs en passant par différents ministères impliqués dans la gestion du territoire, de l'environnement et de l'eau. Certains représentants du gouvernement en font partie, mais ceux-ci n'ont pas de droit de vote lors de la prise de décisions; ils ont plutôt un rôle d'observateur et de participant dans la mise en place de consultations et dans la prise de décisions du conseil d'administration de l'OBV.

Les organismes de bassin versant ont pour principal objectif d'être une table de consultation et de planification de la ressource en eau. C'est par la concertation publique que les organismes de bassin versant doivent faire passer leurs messages et leurs idées. Ils ne disposent pas de pouvoirs décisionnels et ne sont pas institutionnalisés comme dans certains pays tels que la France (Lasserre 2010). Cependant il est impératif de comprendre que les OBV du Québec s'impliquent de manière importante dans la gestion, et ce, tant au niveau de l'implication des acteurs dans des politiques de l'eau, que dans la mise en place de plans d'action concrets sur le terrain avec l'aide des ministères, des MRC, des municipalités et des autres acteurs impliqués.

Ils ont pour but de sensibiliser les différents acteurs présents sur le territoire quant à une gestion plus efficace de la ressource en eau en présentant un portrait global ainsi que certains diagnostics particuliers de la ressource en eau présente dans le bassin versant. L'organisme de bassin versant se doit aussi de présenter les différents enjeux ainsi que les orientations et les objectifs à atteindre pour s'assurer d'un développement durable concluant, d'une bonne qualité et d'une quantité suffisante de la ressource en eau. À la suite de la présentation du portrait du bassin versant, l'organisme doit élaborer un plan d'action qui permettra d'y travailler durant les années futures à l'amélioration de la gestion intégrée de l'eau.

Le plan directeur de l'eau pour un OBV est de la première importance. Il permet à l'OBV de comprendre et de gérer les diverses problématiques présentes dans les bassins versants. Le présent mémoire a pour but essentiellement d'aider à la compréhension des spécificités de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation.

La présente étude se consacre au bassin versant Petite Nation. Cette étude comprend les chapitres suivants. Dans un premier temps, on trouvera un diagnostic des caractéristiques physiques, humaines ainsi qu'économiques présentes dans le bassin versant Petite Nation. Le deuxième chapitre abordera la méthodologie qui fut utilisée dans le bassin versant Petite Nation. Par la suite, l'analyse des composantes hydrologiques du bassin versant Petite Nation sera effectuée afin de permettre une modélisation des débits extrêmes dans ce bassin versant. Finalement, une série de pronostics relatifs à la gestion de la ressource en eau dans ce bassin versant seront proposés, dans le but d'améliorer la gestion de la ressource pour les années futures.

# CHAPITRE I

## Conditions générales dans bassin versant Petite Nation

### *1.1. Description du milieu*

#### 1.1.1. Position géographique

Le bassin versant de la Petite Nation fait partie d'un regroupement de trois bassins versants, soit les bassins versants des rivières : Rouge, Petite Nation et Saumon, tous trois sous la responsabilité de l'organisme de bassin versant RPNS. Les bassins des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon sont situés entre les latitudes 47° 6' 12" nord et 45° 33' 30" sud et les longitudes 74° 9' 53" est et 75° 28' 54" ouest (RPNS 2011). Cette zone de gestion de bassin versant a pour voisin immédiat les bassins versants de la rivière de la Blanche et de la rivière du Lièvre à l'ouest. À l'est, le RPNS a pour voisins les bassins versants des rivières L'Assomption et la Diable, possédant eux aussi leur propre organisme de gestion. Enfin, la frontière nord-est est partagée avec le bassin versant de la rivière Saint-Maurice qui possède lui aussi son propre organisme de gestion.

Au niveau du découpage administratif, le territoire du bassin versant Petite Nation versant est sous le contrôle de trois entités administratives, soit trois municipalités régionales de comtés (MRC). Il s'agit de la MRC de Papineau, de la MRC des Laurentides et de la MRC d'Antoine-Labelle. La MRC de Papineau occupe la majorité de ce territoire soit 68 %. Les MRC d'Antoine-Labelle et des Laurentides occupent respectivement 24 % et 8 % de ce bassin versant (MRC de Papineau, 2004). Fait important, le bassin versant de la rivière Petite Nation compte un territoire non organisé (TNO), soit le TNO aquatique



de la MRC de Papineau. Un TNO est en fait un territoire où la MRC agit comme une municipalité, mais où les services offerts à la population sont moins importants que dans une municipalité ordinaire. Ce sont principalement des territoires où l'on retrouve des pourvoiries, des installations hydroélectriques ainsi que des installations de villégiatures (MRC PAPINEAU 2004)

Se trouvant essentiellement dans la région administrative de l'Outaouais, le bassin versant de la rivière Petite Nation compte 17 municipalités considérées comme de petite taille. Ces dernières sont en grande majorité localisées dans la MRC de Papineau. Cette MRC compte une population de 21 863 habitants (Statistique Canada, 2006). Au point de vue démographique, la municipalité la plus importante est celle de Saint-André-Avellin avec 3 435 personnes y habitant à l'année (Statistique Canada, 2006). La couverture forestière est particulièrement importante dans le nord du bassin versant, laissant place plus au sud, à une activité agricole plus notable. La partie amont du bassin versant est, quant à elle, située dans la MRC des Laurentides.

On retrouve un nombre élevé de plans d'eau de différentes grandeurs dans le bassin versant de la Petite Nation. Les plus importants sont sans aucun doute les lacs Simon et Gagnon, qui ont une superficie respective de 28,5 et 18,5 km<sup>2</sup> (MRC Papineau 2004). L'occupation humaine est faible dans ce bassin versant tout au long de l'année. Cependant, les estivants sont présents de manière soutenue durant les mois d'été, et ce, essentiellement sur les pourtours des cours d'eau présents dans ce bassin versant. Sur les 2 250 km<sup>2</sup> du bassin versant vit une population qui se situe autour de 17 509 habitants (RPNS 2012). Ceci donne une proportion de 32,44 habitants au kilomètre carré (RPNS 2012). On doit souligner que la municipalité de Montebello présente dans le bassin versant de la rivière Saumon, affiche un ratio de 125,7 habitants au kilomètre carré et que la municipalité de Duhamel présente quant à elle dans le bassin versant de la rivière Petite Nation affiche un ratio de 1,1 habitant au kilomètre carré.

## *1.2. Géologie, pédologie et géomorphologie.*

### **1.2.1 Socle rocheux**

Le socle rocheux présent dans le bassin de la rivière Petite Nation est associé à la province de Grenville et à la plateforme du St-Laurent. Le socle rocheux le plus important qu'on retrouve sur le bassin versant est celui de la province de Grenville qui occupe le nord du fleuve Saint-Laurent et s'étend de l'est de l'Ontario jusqu'au Labrador. La datation de cette province géologique nous renvoie à environ 1,25 milliard d'années, soit lors de l'ère géologique du Protérozoïque (Landry et Mercier; 1992).

Cette province géologique comprend « trois grandes entités litho tectoniques : le Parautochtone, l'Allochtone monocyclique et l'Allochtone polycyclique (Rivers et al. 1989<sup>1</sup>) ». L'entité litho tectonique présente dans le bassin versant de la rivière Petite Nation est l'Allochtone monocyclique qui se caractérise par le fait qu'il n'a subi qu'un seul cycle orogénique. Le socle rocheux est donc principalement constitué de roches de type supracrustal à la base, injectées de dykes ainsi que de filons-couches de roches mafiques et ultramafiques (Perrault et Moukhsil 2004).

La province géologique de la plateforme du St-Laurent est plus jeune puisqu'elle se situe à l'ère géologique du Paléozoïque, à savoir les phases du Cambrien, Ordovicien, Silurien et Dévonien (Nantel 2006). Cette formation rocheuse renferme dans une proportion importante des roches à grains fins, tendres et souvent fossilifères. Il s'agit dans la plupart des cas, des calcaires, shale, ainsi que de grès de dolomie. Cette

---

<sup>1</sup> Rivers, T., Martignole, J., Gower, C.F. et Davidson, A.  
«New tectonic Divisions of the Grenville Province, Southeast Canadian Shield» dans *Tectonics*, vol. 8, p. 63-84

formation rocheuse repose sur un socle métamorphique grenvillien (Landry et Mercier 1992).

Sur la plupart des terrains ayant un relief peu accidenté on peut apercevoir une accumulation de sédiments de grandeurs différentes qui ont été transportés par les eaux de fonte des glaciers. Ces sédiments sont principalement composés de différentes couches de sable et de gravier de dimensions multiples. À la suite de l'érosion glaciaire et du recul des glaciers, l'eau contenue dans la mer de Goldthwait a envahi lentement une partie importante des basses terres du Saint-Laurent, créant ainsi une mer pro-glaciaire soit la mer de Champlain. C'est durant cette période géologique que les basses terres du St-Laurent furent recouvertes d'une couche importante de sédiments, propice à l'agriculture. Le bassin versant de la rivière Petite-Nation est essentiellement situé sur la formation géologique du Bouclier canadien. Le bassin versant est donc constitué de roche métamorphique, soit essentiellement des gneiss.

### 1.2.2.Géomorphologie et relief

Une grande portion de la géomorphologie présente dans le bassin de la rivière Petite Nation est issue de la dernière période glaciaire, soit entre 80 000 à 10 000 ans (Landry et Mercier 1992). Le retrait des glaces, et l'avancement du glacier du nord vers le sud érodèrent les montagnes du Bouclier canadien. Cette érosion laissa des affleurements rocheux importants. Plus au sud, le transport de sédiments résultant de l'érosion glaciaire a fait en sorte que cette partie du bassin versant est recouverte de dépôts glaciaires variés.



En ce qui a trait à la géomorphologie de la région, l'érosion et la sédimentation à la suite du dernier âge glaciaire font en sorte que le sol présent dans le bassin versant de la rivière Petite Nation comporte des pentes relativement faibles. Pour illustrer la topographie de la région, l'organisme de bassin versant RPNS a dressé le portrait général des trois bassins versants sous son autorité. On constate que les pentes fortes, soit des pentes se situant entre 30 et 40 %, n'occupent que 9,7 pour cent de la superficie totale, à savoir une superficie de 8 425 kilomètres<sup>2</sup>. Les pentes de moins de 20 % totalisent plus de 45 % de la superficie des trois bassins versants ou quelque 45,7 % de la superficie totale.

Bien que l'inclinaison des pentes ne soit pas importante, la topographie de la partie amont du bassin versant s'avère très accidentée, et ce, sur une distance considérable. La topographie des bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon se distingue par la présence de buttes et des basses collines. Ces formations géomorphologiques représentent respectivement 43,5 et 37,6 % du territoire (RPNS 2011). L'altitude la plus élevée dans le bassin versant de la rivière Petite Nation touche les 500 mètres alors que l'altitude moyenne se situe entre 150 m et 225 m.

La cartographie des pentes du bassin versant de la Petite Nation produit par le RPNS met en évidence la diversité du relief dans ce bassin versant. On peut constater la présence de terrains plats ainsi que des terrasses. Celles-ci ont généralement une déclivité variant entre 0 et 5 %, soit de niveau nul à faible (MRC de Papineau 2001). Les reliefs ondulés et les buttes de dimensions multiples présents dans le bassin versant offrent une déclivité qui varie de 6 à 15 %, qualifiée de douce.

On note aussi la présence de certaines buttes et de collines qui ont pour leur part une déclivité allant de 16 à 60 %, soit une déclivité qualifiée d'abrupte (MRNF 2011). Il importe de souligner la présence de plusieurs escarpements ayant une déclivité de plus de 60 % et qui sont localisés généralement en bordure des plans d'eau, essentiellement dans la partie amont du bassin versant, dans le Bouclier canadien (Voir figure 1.1).

La portion nord du bassin versant de la rivière Petite Nation est constituée de roches ignées, principalement du gneiss qu'on retrouve en grande quantité sur le Bouclier canadien. Cette roche est recouverte d'une couche de dépôts sédimentaire, issue de l'érosion ainsi que du transport sédimentaire durant la dernière glaciation. On constate aussi dans le bassin versant, la présence à certains endroits de roches sédimentaires de la famille des carbonatés tels que le calcaire et la dolomie (MRC de Papineau, 2001).

La portion centrale du bassin versant de la rivière Petite Nation est constituée quant à elle d'une succession de dépôts argileux sur les bas versants des deux rives de la rivière. Dans la portion plus en retrait du cours d'eau, on constate la présence de dépôts de sable sur une couche d'argile, de till et de colluvion. À l'exutoire de la rivière, on observe la présence d'épandages deltaïques sur une distance relativement importante. (MRC de Papineau 2004). Ces épandages se traduisent par la présence de haut fond dans la rivière des Outaouais à cet endroit, en plus de la présence d'îles dans ce delta.

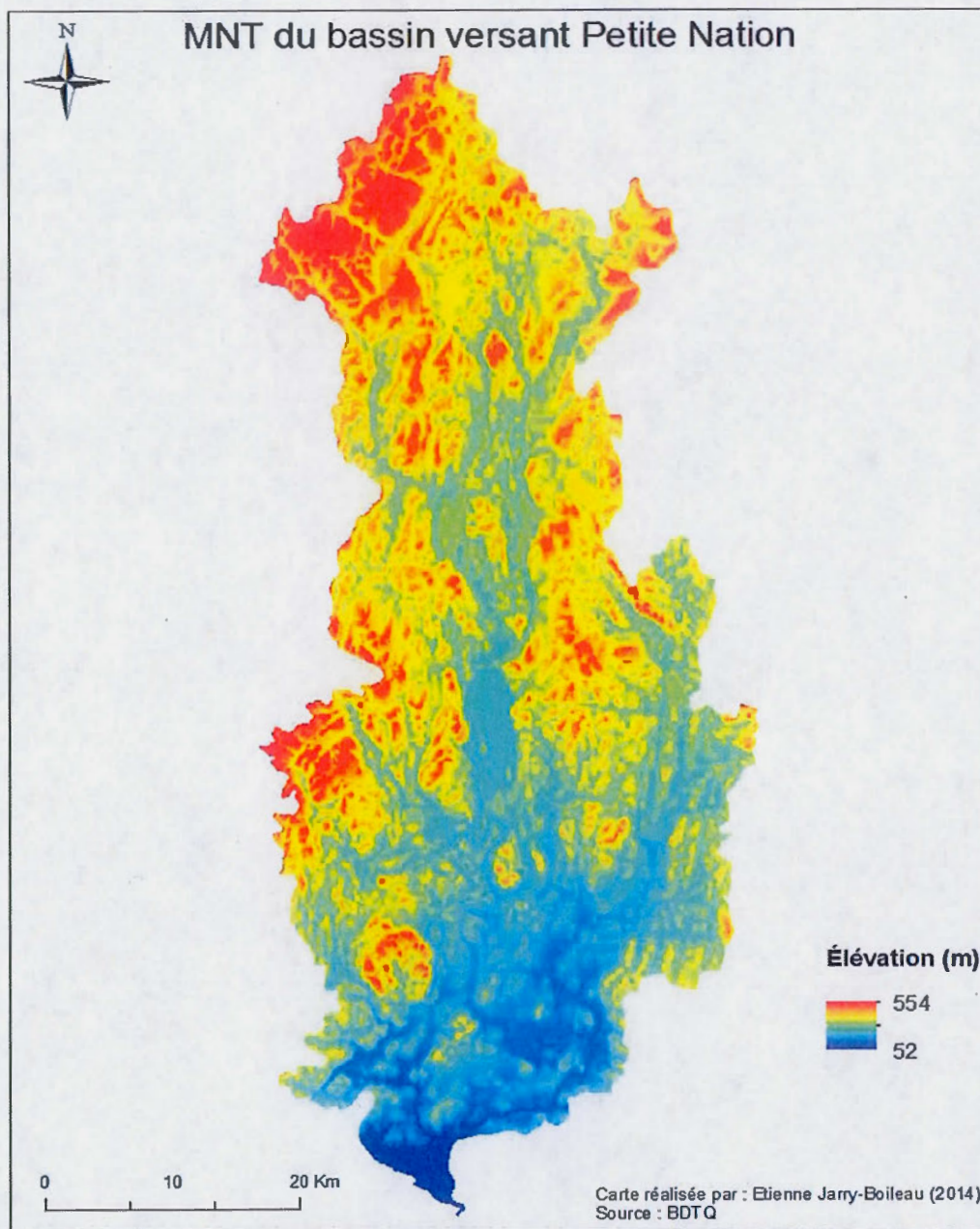


Figure 1.1 : Modèle numérique de terrain du bassin versant Petite Nation



### 1.3. Portrait hydrique

Le bassin versant de la Petite Nation forme un bassin versant de 2<sup>e</sup> ordre, puisqu'il est un affluent du bassin versant de la rivière Outaouais, qui lui, est un bassin versant de 1<sup>er</sup> ordre (RPNS 2011). Le bassin versant de la Petite Nation comprend trois sous bassins : les sous bassins de la rivière Petite-Rouge, de la rivière Preston ainsi que de la rivière Saint-Sixte, comme le précise le tableau I.

Tableau I : Superficies des sous-bassins (RPNS 2011)

Nom du bassin	Superficie en km <sup>2</sup>
Petite Nation	2 250
Petite Rouge	515
Preston	234
Saint-Sixte	192

La rivière de la Petite Nation s'étire sur une longueur de 132 km. Elle possède un débit moyen journalier de 29,8 m<sup>3</sup>/s (CEHQ 2012). Selon les données historiques du centre d'expertise hydrique du Québec, les débits maximaux de la rivière Petite Nation sont enregistrés lors de la crue printanière, soit d'avril à mai. Ils sont suivis par un étiage estival vers la fin de l'été, de juin à juillet (RPNS 2011). Au cours des mois d'octobre et de novembre, les débits augmentent puis reviennent dans les normes d'étiage hivernal au

cours des mois de janvier et février à cause du couvert de glace sur une très grande surface du bassin versant.

Le bassin versant de la rivière Petite Nation renferme certains des plus grands lacs de la région. Les lacs Simon et Gagnon s'étendent respectivement sur 28,99 et de 18,68 kilomètres carrés (RPNS 2011). On remarquera que la présence de lacs est plus importante en amont du bassin versant qu'en aval. Plus la rivière Petite Nation s'approche de son embouchure avec la rivière des Outaouais dans la municipalité de Plaisance, plus le nombre et la dimension des lacs diminuent.

### 1.3.1. Stations hydrométriques

Il existe sur le bassin versant de la rivière Petite-Nation, plusieurs stations hydrométriques réparties essentiellement sur la partie la plus en aval du bassin versant. Le CEHQ possède des données sur cinq stations. Celles-ci portent les numéros de 040401, 040402, 040405 040406 et 040409. Seule la station 040406 est encore aujourd'hui en fonction. Les autres stations furent fermées durant les années 1970 et 1980. La station 040401 fut en service de 1925 jusqu'en 1968; la station 040402 fut en service de 1925 jusqu'en 1972; la station 040405 de 1921 jusqu'en 1925, et enfin, la station 040406 qui depuis 1972 est la seule source de données hydrométriques valables pour l'ensemble du bassin versant.

La station 040409 quant à elle est encore aujourd'hui en fonction. Cependant, celle-ci ne dessert qu'une infime partie du bassin versant Petite Nation, plus précisément 62,60 km<sup>2</sup> (CEHQ 2012). Toutefois cette station possède plusieurs laps de temps où il n'y a pas de mesure de débits d'enregistrée. Ces lacunes font en sorte que les données

issues de cette station ne peuvent être utilisées, laissant pour seule station hydrométrique utilisable, la station 040406.

Au niveau des stations de mesure des hauteurs d'eau dans les lacs du bassin versant Petite Nation, il en existait trois, soit celles du lac Simon (040408), la station du lac Barrière (040407) ainsi que la station du lac Schryer (040410). La station du lac Schryer fut retirée en 1979 tandis que celles des lacs Barrière et Simon furent retirées en 2004 et 2005. Il en résulte un manque important au niveau des hauteurs d'eau dans les lacs du bassin versant Petite Nation, puisque les données enregistrées par ces stations ne permettent pas de les utiliser en raison des carences importantes durant la période à l'étude



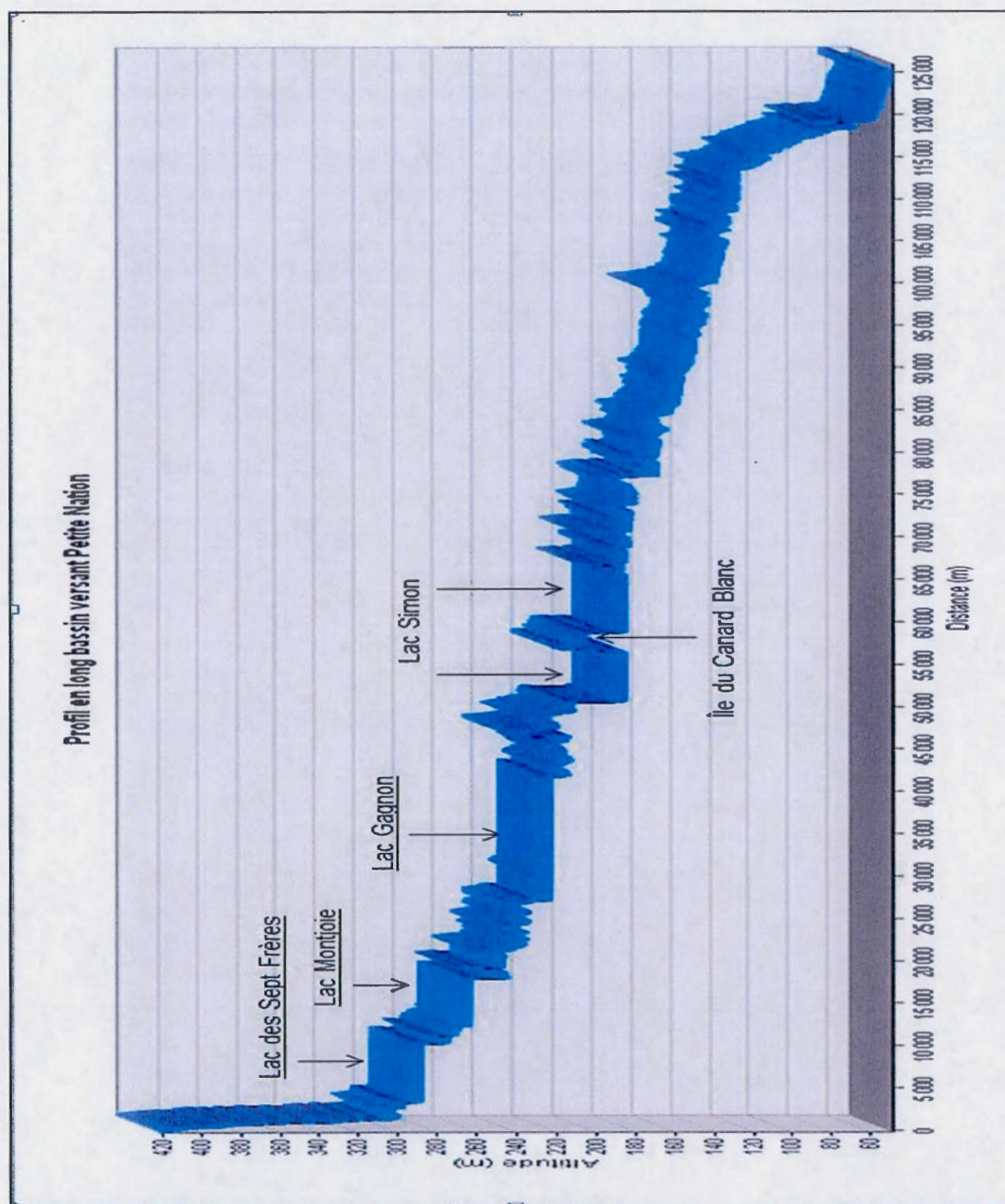


Figure 1.2: Profil en long du bassin versant Petite Nation

### 1.3.2. Indice de Gravelius

Afin de comprendre et d'étudier plus adéquatement le bassin versant, il convient de comprendre la compacité du bassin versant selon sa forme. Ce calcul s'effectue au moyen de la formule de l'indice de compacité de Gravelius.

Où  $K_g =$

$$K_g = \frac{P}{2\sqrt{\pi A}}$$

Cette formule définit le rapport qui existe entre le périmètre du bassin, au périmètre du cercle ayant la même surface. On obtient ainsi dans la plupart des bassins versants, des résultats se situant entre 1 et 4. Un étant un bassin versant très large et peu long, le bassin versant ayant cet indice, possède une forme quasi sphérique, tandis qu'un bassin versant ayant un indice de 4 possède une largeur beaucoup plus petite que sa longueur.

Sachant que :

- $K_g$  est l'indice de compacité de Gravelius,
- $A = 2262,23 \text{ km}^2$
- $P : 402,96 \text{ km}$

Le calcul de l'indice de Gravelius donne un résultat de 2,3721. Le bassin versant de Petite Nation possède donc une forme allongée, tout en ayant un élargissement plus important dans sa partie aval, principalement dû au changement de formation géologique et géomorphologique. Il en résulte une concentration de l'importance de la ressource en eau dans la partie aval du bassin versant de par la diminution de la largeur de celui-ci.

### 1.3.3. La densité de drainage

La densité de drainage permet de calculer le rapport entre la longueur totale des canaux d'écoulement présents dans le bassin versant par rapport à l'aire du bassin versant. Elle reflète la dynamique du bassin en (Llamas, 1993).

Où  $D_d =$

$$D_d = \frac{L_t}{A}$$

$D_d$  : Densité de drainage du bassin versant (km/km<sup>2</sup>)

$L_t$  : Longueur totale des cours d'eau (km)

$A$  : Superficie du bassin versant (km<sup>2</sup>).

Pour le bassin versant de la rivière Petite Nation, 5341.25549 kilomètres de cours d'eau alimentent le bassin versant et que celui-ci recouvre une superficie de 2262,23 km<sup>2</sup>. La densité de drainage pour le bassin versant de la rivière Petite Nation est donc de 2,36. La densité de drainage dans le bassin versant est donc centralisée autour de la rivière Petite Nation. Le fait que le bassin versant de la rivière Petite Nation traverse deux entités géologiques, à savoir le bouclier canadien où les lacs sont nombreux et où le ruissellement se fait sur la roche mère, ainsi que les basses terres du Saint-Laurent, où le drainage est plus élargi, lorsque la rivière sillonne les terres sédimentaires, nous explique cette densité faible du drainage (Voir figure 1.3).



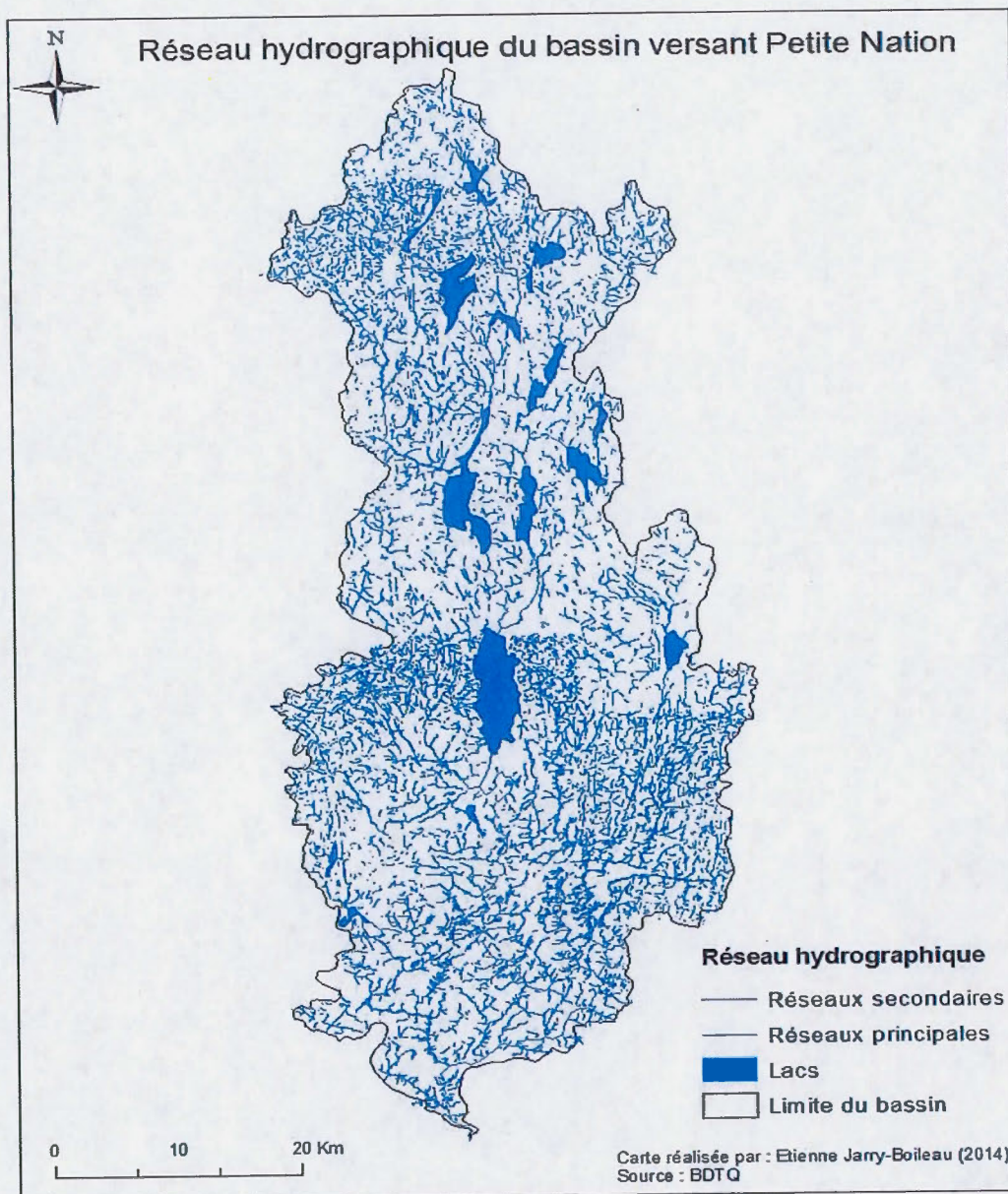


Figure 1.3 : Réseau hydrographique du bassin versant Petite Nation

### *1.4. Eau souterraine*

Pour le moment, la cartographie des ressources aquifères dans le bassin versant de la rivière Petite Nation n'est toujours pas élaborée (RPNS 2011). Ce manque d'information rend plus difficile l'analyse des ressources en eau pour la région à l'étude, car la ressource aquifère représente un outil fondamental dans la compréhension de l'écoulement et de l'infiltration de l'eau dans le sol. Néanmoins, la cartographie des ressources aquifères devrait être effectuée dans les prochaines années.

### *1.5. Bandes riveraines*

Chaque cours d'eau doit avoir sur ses rives, une bande végétale qui permet de ralentir l'érosion, d'assurer un habitat à la biodiversité, de contenir et de filtrer certaines toxines. Toutefois, pour être pleinement efficace, cette bande riveraine doit comporter trois strates de végétation diversifiées en âges et en espèces et constituées d'herbacées, d'arbustes et d'arbres (Duchemin et al. 2002). La réglementation du MDDEP en vigueur dans un nombre important de municipalités de la région stipule « que la bande riveraine doit mesurer 10 mètres de profondeur à partir de la ligne des hautes eaux, et 15 m de profondeur si le terrain présente une pente de plus de 30°. L'entretien de la végétation est cependant permis dans une bande de 5 m contiguë à tout bâtiment existant » (RPNS 2011).

Récemment, on constate que de plus en plus de municipalités commencent à envoyer des avis d'infraction aux riverains qui ne respectent pas cette réglementation et perçoivent des amendes. Dans la plupart des cas, les municipalités demandent aux



propriétaires riverains de procéder à la naturalisation des bandes riveraines sur leurs terrains, avec des végétaux de type indigènes qui sont adaptés au milieu.

Nous ne disposons pas encore de données sur la présence ainsi que sur l'implantation de bandes riveraines. On remarque cependant que plusieurs associations de lacs et d'organismes environnementaux ont commencé la réalisation de cartes et la collecte de données sur cet aspect essentiel pour la survie et la gestion de l'eau. Sachant que les bandes riveraines constituent une solution efficace pour contrer la présence de cyanobactéries observée dans certains lacs et cours d'eau (Gagnon et Gangbazo, 2007), il est important de s'attarder à la construction et à la restauration des bandes riveraines dans le bassin versant de la Petite Nation, plus principalement dans les milieux agricoles et récréotouristiques là où la pollution est particulièrement présente. Le RPNS, lors de sa première année d'existence, s'est employé à sensibiliser la population sur l'importance des bandes riveraines et à encourager une bonne gestion des bandes riveraines déjà en place. Qui plus est, il distribue tous les ans un nombre important d'arbres pour aider les riverains à reboiser leurs bandes riveraines en plus d'offrir une aide aux citoyens qui le désirent dans l'aménagement de leurs bandes riveraines.

### *1.6. Espèces envahissantes*

On dénote depuis quelques années, une augmentation d'espèces envahissantes dans le bassin versant de la rivière Petite-Nation. Plusieurs lacs se voient envahis à des échelles différentes par plusieurs sortes de plantes qualifiées d'envahissantes par le MDDEP (RPNS 2010). Selon le RPNS, plusieurs lacs souffrent de cet envahissement de l'écosystème aquatique. Le lac des Plages, le lac Schryer et le lac Barrière sont parmi les exemples les plus significatifs de l'infestation et de la prolifération de *Myriophylle à épis*

(*Myriophylle spicatum*) et de Pontédérie (*Pontederia*) (RPNS 2011). Pour le moment, aucune campagne visant la suppression de ces invasions végétales n'est prévue, mais, dans un futur plus éloigné, si le problème persiste, il faudra intervenir mécaniquement et chimiquement pour freiner ces invasions.

### *1.7. Milieux humides*

Le relief du bassin versant de la rivière Petite Nation en est un qu'on peut qualifier de relativement accidenté puisqu'on y retrouve plusieurs montagnes et collines de grandeurs importantes. Selon l'organisme de gestion de la faune, Canards Illimités, ce bassin versant renferme environ 116,8 km<sup>2</sup> de milieux humides. Ils sont constitués principalement de marécages et de tourbières associés à des lacs et des cours d'eau (Canards Illimités Canada, 2007; 2009). Ceux-ci couvrent donc environ 5,1 % de la superficie totale du bassin versant. Il est à noter que ces milieux humides sont étroitement liés à la présence de plusieurs barrages de castors sur le territoire. Cet animal emblématique du Canada s'active dans les cours d'eau en milieu forestier et il peut en modifier l'ensemble de la morphologie avec ses constructions (Canards Illimités Canada, 2007).

La présence de ce mammifère est relativement importante dans le bassin versant. Selon le Ministère des Ressources Naturelles et de la Faune (MNRF), les régions administratives du Québec où la concentration de castors au kilomètre carré se révèle la plus importante sont les régions de l'Outaouais et de l'Abitibi Témiscamingue, suivies des Laurentides avec plus de 3,5 colonies au kilomètre carré (MNRF 2010). Plusieurs dizaines

de barrages de castors se retrouvent dans le bassin versant de la rivière Petite Nation. Ces constructions ont entraîné des inondations lors du bris de certaines digues (voir Annexe D1).

Ces inondations sont localisées géographiquement parlant, mais causent souvent des dommages importants à des tronçons de route comme ce fut le cas en 2009, alors que la rupture d'un barrage de castors inonda le lac des Sables, qui inonda à son tour la rivière Petite rouge pour ensuite créer une inondation dans la rivière Petite Nation au niveau de la municipalité de Saint-André-Avellin (RPNS 2011).

La présence de castors sur un territoire a pour effet d'augmenter la pollution de la ressource en eau. En stoppant l'écoulement naturel de l'eau, le castor permet à l'eau emprisonnée par ses constructions de devenir stagnante. Cette situation favorise le développement de certaines bactéries et parasites comme le giarda intestinalis. Ce parasite se retrouve souvent dans les cours d'eau où se sont établis des castors, car on le retrouve dans les excréments de l'animal. La concentration de ce parasite est directement liée à la densité du peuplement de castors dans le bassin. Lorsqu'ingéré par l'humain, ce parasite peut causer d'importantes crampes abdominales, des vomissements ainsi que des diarrhées parfois fortes (MRNF LAURENTIDE 1996).

On constate, de plus, dans certains bassins aménagés par le castor, une diminution de l'oxygène dans l'eau à la suite de la décomposition du matériel organique présent sur le sol avant l'inondation. Cette baisse d'oxygène représente un danger pour la biodiversité (poissons et végétaux) tant dans le bassin lui-même que dans les parties connexes à ces complexes animaliers (MRNF 2010).

C'est pour ces raisons que plusieurs comités de citoyens ainsi que le RPNS en partenariat avec différents ministères, tentent de trouver une solution écoresponsable qui permettrait de diminuer le nombre de castors sur le territoire du bassin versant. Le bassin versant de la Petite Nation a initié certains travaux de gestion du peuplement de castors dans sa partie amont, qui donnent de bons résultats. Il s'agit d'une première étape dans la gestion du castor, qui devrait permettre de contrôler la population tout en s'assurant de leur présence, au plaisir des visiteurs et de certains animaux. Cette gestion pourra diminuer les impacts négatifs de la présence de castors pour les riverains

Selon le RPNS il existe quatre grandes zones d'attrait touristiques dans le bassin versant de la rivière Petite Nation. Ces sites sont soit récréatifs, patrimoniaux, historiques ou culturels. Le plus important site récréotouristique au niveau l'étendue est celui de la réserve faunique Papineau-Labelle. Cette réserve faunique de 1628 km<sup>2</sup> (RPNS 2010) se situe totalement en amont du bassin versant de la rivière Petite Nation et se trouve tant dans la MRC des Laurentides que dans la MRC de l'Outaouais. Grâce à d'importants plans d'eau navigables, à la présence de plusieurs sites historiques et d'endroits favorisant les activités de plein air, le secteur des industries récréotouristiques demeure un acteur économique important pour la région tout au long de l'année.

Ce site comprend 746 lacs et 27 rivières (RPNS 2010), dont plusieurs se retrouvent dans le bassin versant de la rivière Petite Nation. Il propose plusieurs activités telles que les sentiers de ski de fond, de canot-camping et aussi des sentiers pédestres. De plus, quelque 40 chalets sont offerts en location tout au long de l'année et la SÉPAQ (Société des établissements de plein air du Québec) gère en plus les droits de pêche et de chasse. On retrouve aussi sur le site de la SÉPAQ, un parcours exploratoire sur la géologie des parcs. Ce parcours permet aux visiteurs de parcourir plusieurs sites géologiques distincts qui donnent un aperçu de la géologie de la région.



Un autre site récréotouristique d'importance est celui du centre touristique du Lac Simon. Celui-ci est aussi régi par la SÉPAQ. Il propose une plage publique de grande importance ayant plus de 2 kilomètres de long. Le site possède en plus un terrain de camping de 400 sites ainsi que 17 chalets en location, et ce, tout au long de l'année. La pêche sportive constitue aussi une activité importante dans ce site vu la disponibilité d'un grand plan d'eau d'excellente qualité (RPNS 2010). Le lac Simon possède une marina relativement importante en plus de rampes de mises à l'eau publiques qui permettent une utilisation facile et rapide du plan d'eau par les vacanciers et les riverains. Plusieurs autres rampes de mise à l'eau se trouvent sur des terrains privés et sont donc difficiles à recenser. Des terrains de camping, dans la plupart des cas privés, sont disponibles pour les plaisanciers. On y retrouve aussi une plage publique ouverte durant la période estivale en plus de divers sites d'hébergement et de restauration (MRC de Papineau, 2004).

Situé totalement en aval du bassin versant de la rivière Petite Nation, à l'embouchure de la rivière Petite Nation et de la rivière des Outaouais, le parc national de Plaisance possède une superficie de 78.3 km<sup>2</sup> en bordure de la rivière des Outaouais. Ce parc national est sous la direction de la SÉPAQ. Il s'agit d'un parc qui possède de nombreux sentiers d'interprétation et d'observation de la nature. On y retrouve une piste cyclable, une plage ainsi qu'une rampe de mises à l'eau. Il est aussi possible de louer des canots et des kayaks ainsi que de loger dans un camping sur le site même (MRC de Papineau, 2004). Ce site est reconnu comme un sanctuaire de la biodiversité avec plus de 230 espèces d'oiseaux, une population importante de castors et de rats musqués (RPNS 2010).

### *1.8. Climat*

Le bassin versant de la Petite Nation de par son altitude, son couvert végétal et sa topographie, connaît plusieurs variantes de climat. Dans les zones où l'altitude se situe entre 200 et 500 mètres, le climat est qualifié de froid (MRC Papineau 2001). Dans la partie médiane du bassin versant, on retrouve un climat qui varie de modérément froid à doux et humide. Ce type de climat est présent jusqu'à une altitude de 200 mètres. La partie aval, avec son embouchure sur la rivière des Outaouais, possède un climat doux et humide. Au niveau des précipitations, le bassin versant reçoit une moyenne annuelle d'environ 1 000 mm par année (CREDDO, 2004), soit la moyenne pour la région de la vallée ouest du St-Laurent. Il existe trois stations de mesure du climat dans le bassin versant Petite Nation, à savoir les stations de Chénéville, Montebello-Sedbergh et Notre-Dame-de-la-Paix.

Deux groupes climatiques selon la classification de Litynski (1988) sont présents dans le bassin versant Petite Nation, soit les classes 11 et 14. Bien que sensiblement identique, la zone 14 représente la zone de climat tempéré, tandis que la zone 11 illustre la zone subpolaire (Voir Annexe A1).

### *1.9. Couvert végétal*

Le bassin versant de la Petite Nation recèle plusieurs couvertures végétales en fonction de sa topographie c'est-à-dire essentiellement une couverture forestière en amont et une couverture végétale de type agricole en aval. L'amont du bassin versant comporte

un couvert végétal de type érablière à bouleau jaune qui occupe 26,7 % du territoire; on retrouve ce peuplement forestier principalement, dans la partie amont du bassin versant. Dans sa partie centrale, on retrouve plutôt un peuplement forestier correspondant à l'érablière à tilleul. Celui-ci occupe la plus grande partie du territoire de la MRC de Papineau ou 67,8 % (MRC de Papineau 2001). Dans la partie en aval, située essentiellement sur les bordures de l'embouchure de la rivière Petite Nation sur la rivière des Outaouais l'érablière à caryer domine. Ce peuplement forestier s'étend sur 5,5 % du territoire.

Dans le bassin versant de la rivière Petite Nation, le couvert forestier s'avère prédominant. Le RPNS estime le recouvrement forestier des bassins versants de la Petite Nation et Saumon à près de 75 % du territoire (RPNS 2011). Dans son portrait des bassins versants sous son contrôle, le RPNS estime que 4,8 % de cette couverture forestière fait l'objet de coupes et de techniques de régénération. Cette ressource est très importante d'autant plus qu'elle fait elle-même partie des trois domaines bioclimatiques les plus chauds et les plus diversifiés du Québec ». Qui plus est, on trouve dans ce bassin versant, des parcelles forestières, soit environ 14 % du territoire (RPNS 2011), de plus de cent ans, ce qui est de plus en plus rare dans cette région et même dans le Québec méridional.

### *1.10 Secteur forestier*

Le couvert forestier occupe une partie importante de la région à l'étude. La MRC Papineau, administre une grande partie de la superficie du bassin versant de la Petite Nation. C'est à cause de l'industrie forestière que la région s'est colonisée et qu'elle a progressé depuis le début du XIX<sup>e</sup> siècle. Ce moteur économique repose en partie sur la

qualité du produit, mais aussi sur l'abondance de celui-ci dans la région. Le couvert forestier représente 72 % de la superficie totale de la MRC Papineau dont 41 % sont constitués de forêts privées, et 31 % de forêts publiques (MRC Papineau 1996). Les forêts du territoire de la MRC de Papineau se situent en partie sur des terres publiques, et sur des terres dites privées. Selon les chiffres émis par la MRC Papineau en 1996, les forêts du domaine privé représentaient 57 % de la superficie totale du couvert forestier dans la MRC (MRC Papineau 1996). Au niveau du Québec, ce pourcentage se situe environ à 10 %.

En ce qui a trait à la production de bois, quelque 500 hectares de forêt sont exploités par les propriétaires de forêts privés, pour une production annuelle de 125 000 m<sup>3</sup> de bois en 1996 (MRC Papineau 1996). Dans les forêts publiques, la production de bois représente 175 000 m<sup>3</sup> de bois par année, pour une superficie de production de 3000 hectares (MRC Papineau 1996). Parmi les grandes propriétés forestières dans la MRC Papineau, la plus importante est celle de la réserve faunique Papineau-Labelle regroupant 720 kilomètres carrés de forêts qui est sous le contrôle du ministère des Ressources naturelles et de la SÉPAQ. Cette propriété est utilisée par des compagnies forestières et des coopératives forestières comme théâtre d'exploitation forestière régie par la SÉPAQ.

La capacité de production forestière de la MRC Papineau est immense; dans son rapport de 1996 sur la ressource forestière, la MRC évalue à 14 millions de mètres cubes le bois disponible dans les forêts privées, et a un peu moins de 16 millions de mètres cubes de bois disponible dans les forêts publiques. Sachant que le couvert forestier est principalement composé de feuillus, la production forestière ne fait qu'augmenter au rythme de la demande.

Dans son plan d'aménagement de 2007, la MRC Papineau explique l'importance de l'exploitation de la ressource forestière dans la région à l'étude : « Dans Papineau, trois emplois manufacturiers sur quatre sont reliés à l'industrie de la transformation du bois »... Chaque année, plus de 20 petites et grandes entreprises sur le territoire de cette MRC transforment plus d'un million de mètres cubes de matière ligneuse, surtout des essences de feuillus.

En plus de l'exploitation forestière, la forêt permet la viabilité de l'industrie récréotouristique qui dépend en grande partie de la présence des espaces de plein air et de leur beauté. C'est pour cette raison que depuis le début des années 1990, la MRC Papineau a décidé de concentrer ses efforts sur la gestion de cette ressource sous le signe du développement durable, permettant ainsi aux générations futures d'en bénéficier (MRC Papineau 2007).

### *1.11. Changements dans le paysage du bassin versant la Petite Nation*

On constate depuis environ 50 ans une augmentation de la population non seulement dans la région des Laurentides où la Petite Nation prend sa source, mais aussi dans la région de l'Outaouais, où la grande majorité du bassin versant se situe alors que la rivière Petite Nation se jette dans la rivière des Outaouais à la hauteur de la municipalité de Plaisance.

Puisque le paysage a changé considérablement à la suite du développement industriel, de l'augmentation des productions agricoles et de l'accroissement de la population en fonction particulièrement du développement du secteur récréotouristique,



l'organisation du territoire a aussi connu des changements. Ceux-ci ont, de toute évidence, eu des impacts sur le drainage dans le bassin versant. Mais quelles ont été la nature et l'importance de ces changements?

Depuis l'implantation de l'organisme de gestion du bassin versant de la Petite Nation en 2009, une cartographie de la région ainsi qu'une cartographie de l'organisation et de l'aménagement du territoire furent complétées. Cette cartographie (se retrouve dans le Portrait des bassins versants des rivières Rouge Petite Nation et Saumon (RPNS 2011). Elle fut parachevée dans l'optique de dresser un état des lieux et d'être une aide visuelle pour la connaissance des diverses composantes du bassin versant. Elle comporte toujours une cartographie des trois bassins versants sous la gouverne de l'OBV RPNS. Cette façon de faire est compréhensible vu le jeune âge de l'OBV. Cependant, il en résulte un problème au niveau de l'analyse individuelle des bassins versants de l'OBV.

En ce qui a trait aux données sur la ressource en eau dans le bassin versant de la Petite Nation, seules les données comptabilisées par le CEHQ sont disponibles. Pour ce qui est des données climatiques, elles viennent du MDDEP, mais ne couvrent qu'une petite partie de la période à l'étude. On ne peut avoir les données journalières; seules les données comptabilisées pour l'année sont disponibles, limitant ainsi la qualité de l'évaluation des extrêmes. Toutefois ces données permettent une compréhension du climat dans le bassin versant de la Petite Nation.

La gestion des débits de la rivière est souhaitée par certaines municipalités de même que par des MRC qui remarquent des changements dans l'intensité et la récurrence des inondations et des périodes d'étiage. La présence de cyanobactéries dans les lacs et les rivières de ce bassin versant deviennent une source d'inquiétude de la part



des municipalités qui voient leurs ressources en eau devenir une menace pour les habitants.

Il existe une réelle volonté de comprendre l'évolution du débit de la rivière, ce qui favorise les études et les recherches qui peuvent apporter des réponses aux différentes inquiétudes de la population. Cependant, les données relatives à la ressource en eau sont peu nombreuses et comportent plusieurs manques sérieux. Ainsi, le nombre de stations hydrométriques dans le bassin versant fait défaut et il existe des carences au niveau des enregistrements de débits. Cette situation fait en sorte qu'il nous manque des informations pour certaines périodes; la marge d'erreur dans l'analyse de ses données s'en trouve ainsi augmentée.

## 1.12. *Évolution de la gestion de l'eau au Québec*

### 1.12.1. *Historique du plan directeur de l'eau*

Ce n'est que depuis 2002 que le Québec possède une politique nationale de l'eau. Elle a fait suite aux recommandations du BAPE qui demandait une intervention gouvernementale dans la gestion de l'eau ainsi qu'une réglementation sur la ressource en eau pour le Québec (BAPE 2000). Cette politique fût présentée le 26 novembre 2002 par le premier ministre de l'époque, Bernard Landry (Brun et Lasserre 2010). Elle a eu pour effet de faire de la ressource en eau, un patrimoine collectif pour la population québécoise.

La politique nationale de l'eau comprend 57 engagements qui s'inscrivent dans 5 grandes orientations soit : 1 — réformer la gouvernance de l'eau au Québec, 2 — implanter la gestion intégrée du St-Laurent, 3 — protéger la qualité de l'eau ainsi que des écosystèmes aquatiques, 4 — poursuivre l'assainissement de l'eau et améliorer la gestion des services de l'eau et finalement 5 — favoriser les activités récréotouristiques liées à la ressource en eau (Québec 2002). Elle doit permettre de *résoudre de façon durable, les problèmes liés à ces enjeux qu'une politique de l'eau, dont l'une des pierres d'assise, est la gestion intégrée de l'eau par bassin versant* » (MDDEP 2010). C'est à la suite de cette politique que le gouvernement créa officiellement les Organismes de Bassin Versant. Ces organismes initialement bénévoles deviendront des organismes à but non lucratif.

Cette politique fut suivie par la *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection* adoptée en 2009. Cette loi a pour but premier de reconnaître l'eau comme patrimoine collectif des Québécois en plus d'assurer la protection

de la santé publique et des écosystèmes aquatiques tout en gérant l'eau de façon intégrée dans une perspective de développement durable. Elle confirme la volonté du gouvernement québécois de gérer la ressource en eau avec une approche de gestion intégrée de l'eau par bassin versant. Cette nouvelle loi repose en fait sur la création ainsi que l'application d'un Plan Directeur de l'Eau (PDE) . De plus, elle affirme le caractère dit collectif des différentes ressources en eau du Québec, et vise à renforcer leur protection. Cette loi accorde au ministère de l'Environnement du Québec « le pouvoir de limiter ou de faire cesser tout prélèvement d'eau qui présente un risque sérieux pour la santé publique ou pour les écosystèmes aquatiques, sans indemnité de la part de l'État » (MDDEFP 2009).

Dans le cadre de la politique nationale de l'eau, 33 organismes de bassin versant ont amorcé la gestion de la ressource en eau par bassin versant. Le nombre d'OBV sera augmenté à 40 en 2009, notamment avec l'ajout de l'organisme de bassin versant RPNS.

Selon le MDDEFP, la Gestion intégrée de la ressource en eau par bassin versant s'étale sur une période qui se situe normalement entre 6 à 8 ans (MDDEFP 2013). Durant cette période l'OBV doit élaborer son PDE selon six stades qui sont illustrés dans l'annexe E1. La mobilisation des acteurs de l'eau demeure à la base du fonctionnement d'un OBV puisque celui-ci a un pouvoir de concertation et se doit de s'associer avec les divers acteurs pour pouvoir, d'un commun accord, gérer efficacement la ressource. Le point le plus important de la création et de la mise en œuvre d'un PDE réside dans une bonne collecte des données et d'informations concernant le bassin versant et ses spécificités. Un portrait complet ainsi qu'un diagnostic des problèmes les plus importants dans le bassin versant servent d'assise au PDE. Par la suite, la détermination des enjeux présents dans le bassin versant est facilitée et le choix des orientations quant à la gestion de la ressource dans le bassin est simplifié. Cette phase se veut complémentaire au portrait du bassin versant, car elle implique les différents acteurs du bassin et initie le processus de



concertation publique à la base du modèle de gestion par bassin versant privilégié au Québec.

Par la suite, il faut déterminer les objectifs à atteindre en fonction des enjeux et orientations choisies. Cette phase représente le cœur du PDE, car elle conditionnera totalement la phase suivante qui est l'élaboration ainsi que la mise en œuvre d'un plan d'action pour l'OBV. Ce plan d'action se déroule en plusieurs phases, puisque plusieurs problématiques distinctes sont présentes sur un bassin versant. La mise en œuvre et l'application du plan d'action peuvent prendre plusieurs années puisque chaque bassin versant comporte ses particularités et ses problématiques. Par la suite, un suivi attentif du plan d'action est requis pour s'assurer de la pérennité de la ressource en eau dans le bassin versant et, surtout, pour s'assurer que la concertation avec les différents acteurs porte fruit.

En 2011, l'OBV RPNS a produit le portrait des trois bassins versants sous sa responsabilité. En 2012, l'OBV RPNS a poursuivi avec le diagnostic préliminaire des trois bassins, fruit de plusieurs consultations sur le territoire. Le diagnostic final a été publié en 2013 (RPNS 2012). La détermination des enjeux et des orientations est aussi grandement avancée puisque le RPNS, lors de plusieurs audiences, a consulté les différents acteurs tant sur les enjeux pour les trois bassins versants que sur les orientations et les indicateurs à utiliser dans l'élaboration d'un plan d'action. Il en résultera un plan d'action pour les bassins versants des rivières Rouges, Petite Nation et Saumon, regroupant plusieurs problématiques présentes sur l'ensemble de ces bassins. Bien que jeune, le RPNS progresse grandement dans la création et l'application d'un PDE qui pourra, dans les années futures, aider grandement à la pérennité de la ressource en eau pour toute la région sous son contrôle.

Cette façon de faire n'est pas interventionniste comme c'est le cas en France, puisque les OBV au Québec ne sont pas intégrées au gouvernement, ce qui limite complètement leurs champs d'action. La France fut un précurseur au niveau de la gestion par bassin versant. C'est en 1964 que la Loi sur l'eau fut votée par le parlement français. Cette loi mit en place les premiers OBV. La loi sur l'eau de 1992 édicte que la ressource en eau est un patrimoine commun pour la France. La protection de cette ressource, sa mise en valeur ainsi que le développement de la ressource en eau doit se faire dans le respect des équilibres naturels présents, mais aussi et surtout selon l'intérêt général de la France et de la population française.

Cette institutionnalisation des OBV ainsi que de la ressource en eau ont par la suite mené à l'adoption de la Loi sur l'Eau et les Milieux Aquatiques (LEMA) par le parlement français en 2006. Cette loi a permis l'adoption d'une réglementation contre les pollutions aquatiques, une gestion de l'eau qui favorise les économies en eau ainsi qu'un meilleur partage de la ressource pour la population française. L'élément le plus important de cette législation est que, dorénavant, la restauration des milieux aquatique est la responsabilité des OBV, qui ont un droit d'intervention sur le terrain et qui fonctionnent selon le modèle de l'utilisateur payeur. C'est de cette façon que les OBV reçoivent en grande partie leur financement.



## CHAPITRE II

### Méthodologie de la recherche

Cette étude consacrée au bassin versant Petite Nation reposera sur une méthodologie complète, basée sur plusieurs études antérieures qui permettront de calculer ainsi que de modéliser les débits extrêmes dans ce bassin versant. La méthodologie utilisée mènera au choix de la loi de probabilité la plus précise pour le bassin versant Petite Nation, en plus de l'extrapolation des données à l'exutoire du bassin versant.

#### 2.1 Analyse des débits

La mesure des débits dans un bassin versant permet de calculer plusieurs phénomènes ou particularités dont la période de crue. Selon le CEHQ, une période de crue est en fait une période temporelle pendant laquelle il y a une présence de montées des débits et du niveau d'eau dans les cours d'eau d'un bassin versant. On considère qu'il y a une montée du débit et du niveau d'eau lorsque le niveau et le débit enregistrés sont au-dessus des normales habituelles du cours d'eau. Ces normales sont calculées à partir de la moyenne des données mensuelles des débits. Il y a un dénombrement des crues annuelles qui se fait par la comptabilisation des maximums annuels des débits, peu importe le moment dans l'année où ils ont eu lieu.

Il existe principalement deux types de crues des eaux pour les cours d'eau du Québec (CEHQ 2012). Dans un premier temps, on parle de la crue des eaux printanières

qui résulte essentiellement de la fonte du couvert neigeux ainsi que du couvert de glace sur les cours d'eau du bassin versant. Dans la plupart des cas, cette fonte se fera de l'aval vers l'amont, sauf pour les bassins versants se trouvant sur la côte sud du St-Laurent. Dans le cas de ces bassins versants, l'amont dégèle avant l'aval, augmentant ainsi le niveau d'eau et le débit sans que la partie amont soit totalement dégagée des glaces. Cette particularité de la rive sud du St-Laurent accroît les probabilités d'avoir, lors de la fonte des neiges, des embâcles, et donc, du même coup, une augmentation des niveaux d'eaux dans le bassin versant, ce qui peut entraîner des inondations.

Cette période de crue se situe principalement entre les mois de mars et de mai, pour la partie sud du Québec, soit la partie méridionale de la province. C'est durant ces périodes de crues que l'on peut observer des épisodes d'inondations dans le bassin versant de la Petite Nation. On définit la période d'inondation comme un débordement d'un cours d'eau, qui submerge des terres normalement plus hautes que le niveau moyen des eaux. Selon le CEHQ (2012), deux sortes d'inondations peuvent avoir lieu au Québec.

La première est une inondation où il n'y a pas de présence d'embâcle dans le cours d'eau. L'augmentation du niveau d'eau n'est pas le résultat d'un refoulement de l'eau par un obstacle qui empêche son bon écoulement. Elle résulte simplement d'une augmentation trop importante de la ressource en eau pour permettre un écoulement normal. L'autre type d'inondation provient de la présence d'embâcles sur le cours d'eau. Cet obstacle cause un refoulement d'eau sur la partie amont provoquant une augmentation du niveau d'eau et, par le fait même, l'inondation (CEHQ 2011). Une crue peut aussi survenir lors de précipitations abondantes durant une période temporelle de courte durée. Le CEHQ utilise l'expression « crue éclair » pour désigner ce type de crue; elle est connue dans la littérature comme « flash flood » (CEHQ 2011).

### *2.1.1. Période d'étiage*

Les périodes d'étiages sont des périodes pendant lesquelles le niveau ainsi que le débit dans le bassin versant glissent sous les normales de saison (CEHQ 2102). C'est en fait le moment où le bassin versant est au plus bas tant au niveau du débit qu'au niveau des hauteurs d'eaux au regard de la normale enregistrée pour cette saison. Évidemment, les périodes d'étiages sont le plus souvent observées durant les mois d'été. Il est cependant possible que ces périodes se produisent durant les mois d'hiver, le tout étant étroitement relié au climat ainsi qu'aux précipitations courantes.

Les périodes d'étiages sont présentes et sont même facilement observables, dans le bassin versant de la rivière Petite Nation. Elles sont définies par le CEHQ (2012) comme un débit le plus bas atteint par le cours d'eau pendant une période de plusieurs jours; on l'appelle aussi la période des basses eaux. La période d'étiage correspond au niveau annuel le plus bas atteint par un cours d'eau, et ce pour un point défini, qui dans le cas présent est la station hydrométrique.

Un étiage apparaît dans la grande majorité des cas sur l'ensemble du bassin versant puisque le manque de précipitations influence l'ensemble du bassin. Moins il y a de lacs ou d'autres types d'étendues d'eau, plus l'étiage sera important. En effet, ces étendues d'eau agissent comme des barrages naturels dans l'écoulement de l'eau, ce qui diminue l'étiage. C'est pour cette raison que l'étiage dans le bassin versant de la Petite Nation se situe essentiellement dans la portion aval du bassin. Lorsqu'on considère la disposition géographique des étendues d'eaux, on constate que le dernier tiers du bassin versant de la rivière Petite Nation en comporte très peu. Il ne peut donc y avoir d'accumulation d'eau, ce qui augmente la baisse du niveau d'eau dans le bassin versant et favorise l'étiage.

En étudiant les périodes de crues et d'étiages, il est possible d'établir le bilan annuel de chaque mois et de comprendre l'écoulement de l'eau dans le bassin versant. C'est avec le coefficient de ruissellement qu'il est possible de bien comprendre la relation entre la hauteur d'eau précipitée et la hauteur d'eau ruisselée. On peut, par la suite, savoir de quelle sorte de sol est constitué le bassin versant selon la charte mise au point par Noury (2005).

### *2.2.2. Module interannuel*

La compréhension des débits dans le bassin versant de la Petite Nation passe aussi par celle du module interannuel ( $Q_{an}$ ). Pour ce faire, il faut utiliser les débits moyens mensuels. Par la suite, on calcule la moyenne des débits moyens mensuels pour l'ensemble de l'année. On fait alors le rapport entre le débit moyen sur la moyenne des débits annuels à l'étude. Selon Abderrahman (1993), on appelle le module annuel, le débit moyen annuel. Il faut le distinguer du module interannuel moyen de longue durée, qui est en fait la moyenne des modules annuels pour le nombre d'années à l'étude.

Le calcul du module interannuel permet ainsi de calculer le rapport qui existe entre ces deux types de mesures des débits moyens. Il en résulte un ratio entre les deux qui permet du même coup de quantifier l'importance d'un débit mensuel par rapport à la moyenne annuelle. Il est alors possible d'identifier les mois au cours desquels il y a des changements importants au niveau de l'écoulement dans le bassin versant. Ces changements peuvent se produire durant les mois où le ratio est plus élevé créant des inondations ou ceux pendant lesquels il est faible occasionnant alors l'étiage.



Le calcul ainsi que la compréhension du coefficient mensuel des débits ( $C_q$ ) permettent aussi de comprendre comment évolue le débit dans le bassin versant selon les mois de l'année. Pour ce faire, on calcule les coefficients mensuels des débits en divisant le coefficient du débit mensuel par la somme des coefficients du module interannuel. Le rapport entre les deux permet d'illustrer à l'aide d'un tableau et d'un graphique, la variation de l'importance des débits dans le bassin versant pour chacun des mois de l'année. Il est possible par la suite de créer un seuil mathématique qui est à 1, et ainsi comprendre et visualiser les mois au cours desquels il y a des hautes eaux, soit les mois où le coefficient est plus grand que 1. On peut aussi calculer et visualiser les mois pour lesquels le coefficient est plus petit que le seuil mathématique de 1, soit les mois des basses eaux.

Pour bien comprendre l'écoulement dans le bassin versant de la Petite Nation, il faut aussi saisir l'importance du laminage. Les lacs présents dans le bassin agissent comme un tampon dans l'écoulement de la ressource en eau du bassin versant, en emmagasinant des volumes importants d'eau, ainsi qu'en régularisant le débit de par l'importance de leur volume d'eau stocké.

Afin de bien connaître la ressource en eau dans le bassin versant, on doit absolument inclure la compréhension des débits s'écoulant dans ce bassin. C'est pour cette raison que nous avons choisi d'utiliser l'ensemble des données disponibles pour la station 0404006 afin d'en faire l'analyse statistique complète. Cette analyse a permis par la suite de faire une extrapolation des données maximum et minimum comptabilisées avec le logiciel HYFRAN, et ainsi prédire les périodes de retour des débits pour le bassin versant de la rivière Petite Nation.

Il existe une méthodologie pour faire l'extrapolation des maximums annuels avec le logiciel HYFRAN. On doit utiliser les maximums annuels enregistrés par la station hydrométrique et ensuite les comptabiliser et les analyser avec le logiciel HYFRAN. Celui-ci modélisera selon les lois statistiques ainsi choisies selon les critères de modélisation sélectionnés.

### *2.3.1. Choix des lois statistiques*

Nous avons choisi trois lois statistiques d'extrapolation des données maximales de débits permettant ainsi de voir les convergences ainsi que les divergences entre celles-ci par apport aux données mesurées à la station 040406. On choisira par la suite la loi statistique qui convient le mieux aux données recueillies et comptabilisées, avec des limites de confiance en appliquant des tests d'ajustements adéquats.

### *2.3.2. Test d'ajustement des lois de probabilité*

Le test d'ajustement des lois de probabilité consiste à trouver une fonction analytique qui permet une représentation des plus fidèle et exacte de l'ensemble des caractéristiques des valeurs utilisées. La méthode du Maximum de vraisemblance fut retenue pour le test d'ajustement des lois de probabilité. Cette méthode d'analyse en est une parmi les plus utilisées puisqu'elle permet d'estimer différents paramètres dans les valeurs utilisées. Principalement, la Méthode du maximum de vraisemblance permet de calculer les paramètres de position, d'échelle et de forme des fonctions (Laborde, 2009).

Aux valeurs des débits annuels maximums recueillis à la station 040406 furent appliqués trois lois de distribution qui sont les plus fréquemment utilisées selon la

littérature. Ces trois lois sont, la distribution log-normale, la loi *Extrem Values (EV)* de Gumbel et la distribution log-Pearson-III (Llamas, 1993).

#### 2.3.2.1. Loi log normale (LN)

Cette loi est une des lois les plus préconisées par les hydrologues puisqu'elle englobe l'action de plusieurs facteurs qui se multiplient les uns aux autres (Musy 2005). Selon Musy (Musy 2005) le produit de  $r$  variables se ramène à la somme de  $r$  logarithmes de celles-ci et le théorème central limite permet d'affirmer la log-normalité de la variable aléatoire  $X = X_1, X_2 \dots X_r$ , dès lors la variable aléatoire suit une loi log-normale. L'application d'une loi utilisant les logarithmes permet de mieux calculer les extrêmes puisque les valeurs seront transformées en valeurs logarithmiques, réduisant ainsi la distance entre les valeurs extrêmes et les valeurs moyennes.

#### 2.3.2.2. Loi de Gumbel (EV)

La loi Gumbel postule le fait que cette loi statistique est en fait la forme limite de la distribution de la valeur maximale d'un échantillon de  $n$  valeurs (Musy 2005). La loi Gumbel utilise les maxima annuels, soit les maxima mesurés pour l'année. Il est à remarquer que plus le nombre de paramètres d'une loi est grand, plus l'incertitude dans l'estimation est importante (Musy 2005).



### 2.3.2.3. Loi log Pearson type III (LP3)

La loi log Pearson 3 est essentiellement la même que la loi log normale. La formule de ces deux lois est semblable, si ce n'est que la loi log Pearson type III prend en compte le coefficient d'asymétrie dans le calcul du facteur de fréquence.

### 2.3.2.4. Choix de ces trois lois

Ces trois lois furent choisies en fonction de ce qu'on retrouve dans la littérature. Llamas (1993), utilise dans ses exemples trois lois de probabilité, soit les lois log normale, log Pearson type III et Gumbel. Nourry (2005) utilise quant à lui les lois log normale et Gumbel. La loi log Pearson type III est présentée comme étant la loi la plus recommandée par les agences fédérales américaines pour l'analyse des inondations (Linsley et al. 2005). Yevjevich (1972) choisit pour sa part les lois log normale et log Person III comme des lois à utiliser dans l'extrapolation de mesure de débits pour un bassin versant. Au Québec, le CEHQ utilise aussi ces deux lois, mais il n'existe pas de documents autres que ceux contenus avec le logiciel HYFRAN qui traitent d'autres lois que la log normale et la log Pearson III

La grande majorité des hydrologues s'entendent pour dire que les lois; log normale, Gumbel et log Pearson type III sont les plus utilisées dans la modélisation des maximums annuels (Llamas 1993, Noury 2005,). Laborde (2009), va même jusqu'à avancer que la loi log Person type III est la loi la plus utilisée en hydrologie. Il explique par la suite que dans les climats tempérés ce sont les trois lois de probabilité choisies qui « rendent le mieux compte de la statistique des débits de crue » (Laborde 2009).



Chow (1964) propose aussi ces trois lois pour l'analyse fréquentielle des inondations dans un bassin versant. Citant les similitudes entre les lois de Gumbel et de la loi normale, il explique qu'en utilisant les deux lois il est possible de prédire plus facilement les extrêmes et ainsi mieux comprendre le fonctionnement du bassin versant lors de crues. Chow (1964) note aussi le fait que la loi log normale est utilisée par les hydrologues depuis 1914 dans l'étude des crues dans les bassins versant, et ce, dans plusieurs pays (Chow 1964). Quant aux lois de Gumbel et Log Pearson type III, aucune date d'entrée en matière n'est répertoriée, mais, sachant que Chow cite des ouvrages des années 1940 à 1950 utilisant ces mêmes lois, on peut en déduire que ces trois lois sont utilisées dans l'analyse fréquentielle des débits d'un bassin versant depuis plus de 60 ans (Chow 1964).

Il est important de souligner que ces trois lois portent différents noms selon les personnes qui les utilisent. La loi log normale prend souvent le nom de Galton (Abderrahman, 1993) dans les ouvrages d'origines françaises et même dans plusieurs pays francophones, essentiellement dans les pays africains. De plus, la loi log Pearson type III devient la loi de Gamma incomplète. Ces changements au niveau des appellations ne change en rien la formule ainsi que l'utilisation de ces lois statistiques.

## 2.4. Extrapolation des données

C'est avec le logiciel HYFRAN que l'extrapolation et l'analyse des données ont été exécutées. Le logiciel HYFRAN permet d'incorporer les débits maximums annuels dans un papier de probabilité. Il devient donc possible de voir les probabilités de dépassement ainsi que de non-dépassement de chacune des données enregistrées pour la période à

l'étude en plus de calculer les périodes de retours. Le calcul des probabilités de dépassement et de la probabilité de non-dépassement sont alors possibles. C'est en utilisant un papier de probabilité avec un papier dit papier normal : Weibull (HYFRAN 2008) que le calcul s'effectue. Le papier normal Weibull est le papier le plus utilisé dans l'extrapolation de données (Berraja 2010, HYFRAN 2008). Il permet de connaître la probabilité de dépassement et la probabilité de non-dépassement des données extrapolées tant pour les maximums que les minimums. On peut dès lors calculer avec un taux d'erreur faible les débits historiques du bassin versant et ainsi calculer et comprendre l'évolution du bassin au fil des années. Cette fiabilité a motivé notre choix.

## 2.5. Critères Aic, Bic

Une fois les tests paramétriques et non paramétriques réalisés, le meilleur moyen de trouver la meilleure loi statistique qui s'adapte le mieux aux données de l'échantillon est d'utiliser certains critères de sélection statistiques qui prônent la minimisation d'un critère pénalisé. Ces données pénalisent la vraisemblance des paramètres destinée aux données. Ceci se traduit sur l'ajustement de la loi tant par le nombre de paramètres qui sont indépendants du modèle mathématique que par le nombre de paramètres qui sont indépendants du modèle et de la taille de l'échantillon des données utilisées (Béliveau 2006). Les critères Aic et Bic sélectionnent ainsi la meilleure loi qui permet un compromis entre les ajustements aux données et l'uniformité du modèle. Chacune des lois statistiques est soumise à ces critères et celle qui obtient les plus petits résultats devient la loi la plus apte à s'ajuster aux données. Une hiérarchisation des résultats sera donc effectuée. Il en résultera l'application de deux critères statistiques soit les critères; *Akaike Information Criterion (AIC)* en 1973, le *Bayesian Information Criterion (BIC)* créé quant à lui en 1978 (Béliveau 2006).

Il devient donc possible avec les critères AIC ainsi que BIC de trouver et ainsi d'utiliser la loi statistique la plus apte dans l'extrapolation des données de débits. Il en résulte une moins grande marge d'erreur permettant ainsi de s'assurer que l'extrapolation est la plus précise possible et, partant, la plus fiable.

## 2.6. Tests d'hypothèse

Après avoir choisi les lois statistiques qui permettront une analyse complète de l'échantillon de données de débits de la station 040406 située dans la municipalité de Ripon, on doit n'en retenir qu'une seule. A cette fin, on doit faire passer les résultats obtenus au moyen de chacune des trois lois statistiques à travers des tests d'hypothèses. Ces tests ont pour but d'évaluer plusieurs critères statistiques tels que les critères d'indépendance, d'homogénéité et de stationnarité de l'échantillon (Musy 2005). Ainsi, on emploiera les tests d'hypothèses les plus utilisés dans l'analyse statistique des données maximales annuelles d'un cours d'eau (Musy, 2005), soit le test d'indépendance de Wald-Wolfowitz, le test d'homogénéité à l'échelle annuelle de Wilcoxon et le test de stationnarité de Kendall.

On utilise des tests paramétriques qui permettent de tester certaines hypothèses pour une loi spécifique. Dans le cas présent, l'utilisation de la loi de Kendall est toute désignée, car cette loi est la plus fréquemment utilisée dans les tests paramétriques en hydrologie. Il est aussi impératif d'utiliser des tests non paramétriques comme c'est le cas pour le test de Wilcoxon ainsi que le test de Wald Wolfowitz qui ne fait aucunement appel aux paramètres de la distribution des données utilisées. L'utilisation des tests paramétriques et non paramétriques fournit une vision plus globale de l'échantillon utilisé



et permet, du même coup, de mieux comprendre les spécificités de l'échantillon et de sa distribution pour ensuite utiliser la meilleure loi d'extrapolation possible.

## 2.7 Calcul des débits à l'embouchure

La superficie sous le contrôle de la station hydrométrique 040406 ainsi que la superficie totale du bassin versant de la rivière Petite Nation étant connues, il est possible de calculer les débits s'écoulant de la rivière Petite Nation dans la rivière des Outaouais lors de leur jonction dans le parc National de Plaisance. Pour ce faire, on utilise une règle de trois. On divisera donc la superficie totale du bassin versant par la superficie couverte par la station 040406, ce qui nous donnera un ratio. Par la suite, on n'a qu'à multiplier les débits enregistrés à la station 040406 pour obtenir les débits à l'exutoire. Les résultats de ce calcul pourront à leur tour être analysés par le logiciel HYFRAN et, ainsi, extrapolés. Cette extrapolation permettra de comprendre les débits extrêmes pour l'ensemble du bassin versant. Ces résultats toutefois ne comprennent pas les changements au niveau de l'écoulement (dénivellation, géomorphologie et géologie, etc.), mais permettent d'avoir un aperçu mathématiquement fiable de l'importance des débits au niveau de l'embouchure du bassin versant.

## 2.8 Calcul des débits d'étiages

Puisque nous connaissons et que nous compilons les débits maximaux annuels dans le bassin versant de la rivière Petite Nation, il convient de calculer les débits minimaux annuels (étiage) dans ce même bassin. On constate annuellement dans le



bassin versant à l'étude la présence de période d'étiage d'importances diverses. Ce bassin compte deux types d'étiage durant l'année. Premièrement, durant les mois d'hiver, particulièrement durant les mois de janvier et février, les débits diminuent dans le bassin, car une grande quantité d'eau est stockée sous forme de neige et de glace, réduisant ainsi l'écoulement (Plamondon 1993). Deuxièmement, durant les mois d'été, particulièrement durant les mois de juin et de juillet, on observe un étiage car les précipitations diminuent, on note en plus une forte évapotranspiration engendrée par une élévation de la température ambiante (RPNS 2011). Ces deux périodes d'étiages sont normales pour les bassins versants du Québec méridional et font partie des aléas au niveau de l'écoulement de la ressource en eau dans un bassin versant.

La méthodologie adoptée par le CEHQ pour mesurer l'étiage dans un bassin versant au Québec repose sur le calcul de trois valeurs différentes au niveau des débits d'étiage dans le bassin versant. Ces trois valeurs couvrent deux périodes de temps, soit la période annuelle (du 1er janvier au 31 décembre) et la période estivale (du 1er juin au 31 octobre). Il en résulte trois valeurs de calculs de récurrence des étiages soit la récurrence de deux ans durant sept jours consécutifs ( $Q_{2,7}$ ), la récurrence de dix ans durant sept jours consécutifs ( $Q_{10,7}$ ), puis la récurrence de cinq ans durant une période de trente jours consécutifs ( $Q_{5,30}$ ) (CEHQ 2012).

La manière de calculer le débit d'étiage diffère de celle utilisée pour le calcul des débits maximaux. Pour les débits d'étiage, on utilise le débit spécifique c'est-à-dire le débit total du bassin versant à la station de mesure divisé par la superficie du bassin versant à la station de mesure. On exprime par la suite le débit en litre par seconde par kilomètre carré soit  $L/s/km^2$  Belzile (1997). Cette façon de faire diffère de la manière de calculer les débits de crues qui sont calculés à l'endroit où se trouve la station de mesure et qui s'exprime en  $m^3/sec$ .

C'est en calculant, mais surtout en comptabilisant l'ensemble des périodes d'étiage qu'il est par la suite possible de comprendre les impacts de ces périodes sur la faune, la flore, ainsi que sur l'agriculture. Le calcul de la récurrence de ces périodes nous indique s'il y a un problème au niveau de l'apport en eau dans le bassin versant, problème qui pourrait être résolu par la réalisation de certains travaux.

C'est pour cette raison que les valeurs correspondant aux débits d'étiage furent soumises aux mêmes modélisations dans le logiciel HYFRAN. Il en résulte une extrapolation des données de débits d'étiages avec une probabilité de non-dépassement de 0-1 000 ans. Ces données, une fois connues, pourront renseigner les urbanistes lors de l'élaboration et de la modification des différents schémas d'aménagement pour les MRC présentes dans le bassin versant de la Petite Nation.

Ces renseignements sur le niveau de l'écoulement de la ressource en eau dans le bassin versant de la rivière Petite Nation permettront aussi à l'OBV RPNS de dresser un meilleur portrait du bassin versant, d'accroître sa compréhension de la ressource en eau et ainsi mieux utiliser la modélisation complète de la ressource en eau pour le bassin versant de la Petite Nation, laquelle pourra être applicable aux deux autres bassins versants présents sur le territoire de l'OBV.

## CHAPITRE III

### Analyse de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation

Dans le présent chapitre on traitera des résultats obtenus tant au niveau des précipitations qu'au niveau des débits dans le bassin versant de la rivière Petite Nation. Ces résultats sont le fruit de l'utilisation de formules mathématiques, et d'outils informatiques qui permettent de comprendre les précipitations ainsi que l'écoulement présents dans ce bassin versant. Une modélisation statistique des débits extrêmes sera conçue afin d'illustrer, tant sous la forme graphique qu'avec des tableaux, les extrêmes enregistrés et modélisés. Les résultats obtenus seront par la suite commentés afin de faire la corrélation entre les différentes données recueillies et analysées et d'en expliquer les limites et les disparités. Le but principal des explications de ces résultats est de mieux comprendre le bassin versant de la rivière Petite Nation, les caractéristiques particulières de son écoulement et de son comportement entre les années 1969 et 2007, et ce pour chacun des mois de l'année.

Pour bien comprendre le bassin versant de la rivière Petite Nation, il est impératif de connaître la quantité de précipitations tombées au cours de l'année dans l'ensemble du bassin versant en plus des caractéristiques physiographiques du bassin versant. Il est également essentiel de comprendre les similitudes ainsi que les divergences entre les années pour mieux saisir l'évolution dans le temps des précipitations dans ce bassin versant en plus de l'évolution des débits, plus précisément des débits extrêmes.

### 3.1. Climat du bassin versant de la rivière Petite Nation

Le bassin versant de la rivière Petite Nation est présent dans deux classes climatiques selon la classification fournis par le MDDEFP (2002). Cette classification des climats présents au Québec comporte 15 classes. On constate que la classe 11 comprend la partie totalement en amont du bassin versant, tandis que la classe 14 comprend la partie aval. La différence entre ces deux classes se voit principalement au niveau des températures puisque la classe 11 comporte des températures plus basses que la classe 14. De plus, la longueur de la saison de croissance passe de longue pour la partie aval à moyenne pour la partie amont (MDDEFP 2002). Litynski (1988) quant à lui sépara le Québec en 12 classes. Encore une fois on peut constater les différences de ces deux classes climatiques (VOIR ANNEXE A1) vu la différence au niveau du climat et des précipitations ainsi que de la durée de la saison de croissance entre la partie amont et aval du bassin versant.

Cette différence s'explique principalement par la présence du fleuve St-Laurent qui, durant les mois d'hiver, ne gèle que partiellement. Il emmagasine donc et redistribue la chaleur, augmentant ainsi le taux d'humidité et la température. Bien que minime, cette différence tient aussi à la différence d'altitudes entre les deux classes. La classe 14 se situe dans les Basses Terres du St-Laurent et donc à une altitude relativement faible. La classe 11 quant à elle, se situe dans le Bouclier canadien et donc à une altitude supérieure à la classe 14. Ces différences d'altitude ont des répercussions au niveau du climat qui est plus froid lorsque l'altitude augmente et aussi au niveau des précipitations qu'on y observe.



### 3.2. Précipitation dans le bassin versant de la rivière Petite Nation

Sachant que les précipitations sont relativement semblables dans l'ensemble du bassin versant de la rivière Petite Nation, comme en fait foi la figure 3.1, il est possible de dresser un portrait complet des précipitations dans ce bassin versant, et ainsi comprendre non seulement l'apport en eau, mais aussi, et surtout, l'écoulement de la ressource de l'amont vers l'aval. L'apport des précipitations est un élément déterminant dans l'écoulement de la ressource et ces deux éléments sont interreliés.

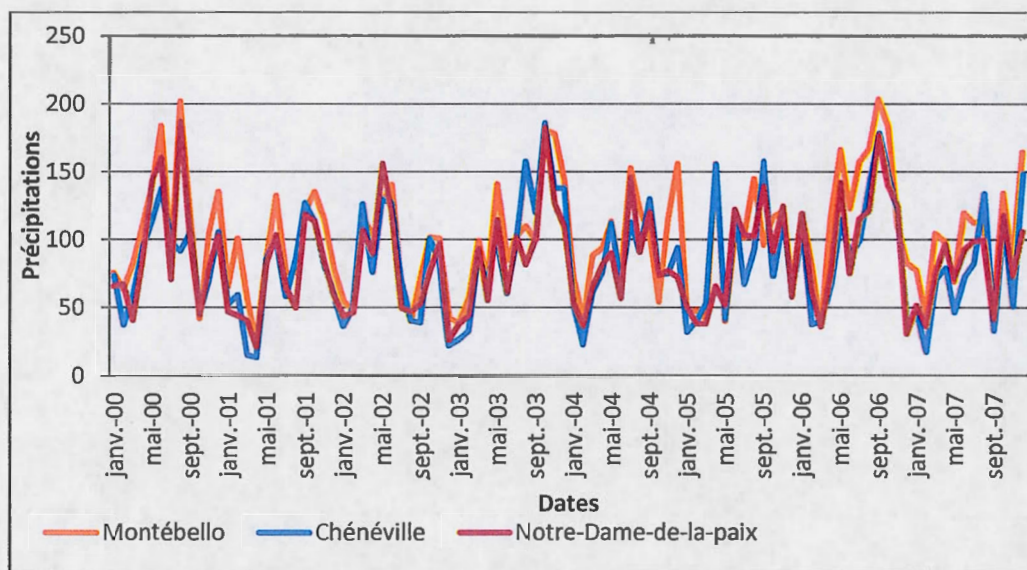


Figure 3.1. : Précipitations mensuelles pour la période : 2001-2007

On constate que les précipitations annuelles entre 2000 et 2007 évoluent sensiblement de la même façon dans les trois stations météorologiques (Montebello, Chénéville ainsi que Notre-Dame-de-la-Paix) présentes dans le bassin versant. C'est en

utilisant les précipitations annuelles que l'on peut mieux comprendre la disposition des extrêmes météorologiques au cours des différents mois des 7 années à l'étude et l'amplitude des précipitations année après année, permettant éventuellement de faire une moyenne. Dans le bassin versant à l'étude, cette moyenne est de 89,74 cm pour les 7 années retenues. On constate dans la figure 3.1, que c'est durant les mois du printemps et de l'été que les précipitations sont les plus importantes, alors que durant les mois d'hiver, les précipitations sont les plus faibles et ce, tant sous la forme liquide que solide. On remarque que l'augmentation des débits durant les mois de mars, avril et, mai, surtout sous la forme liquide en plus de la fonte du couvert neigeux sont responsables de l'augmentation des débits dans le bassin versant. La diminution des précipitations liquides durant les mois de juin et juillet sont responsables des débits d'étiages d'été.

On peut aussi comprendre et du même coup, visualiser, la relation entre les précipitations et le débit qu'on retrouve dans ce bassin versant. On observe qu'il existe une relation importante entre la quantité de précipitations tombées annuellement et le débit dans le bassin versant. L'évolution semblable des deux séries de données nous indique que le bassin versant de la Petite Nation possède un écoulement qui est constant en fonction des précipitations recueillies sur l'ensemble du bassin versant. La présence de plusieurs lacs dans la partie amont assure un écoulement plus stable à cause du laminage plus uniforme qu'ils provoquent.

Il est donc important, pour bien comprendre l'écoulement du bassin versant, d'utiliser le coefficient de ruissellement qui indique l'intensité du ruissellement dans le bassin versant. Ce coefficient permet d'avoir une idée de l'occupation du sol sur le territoire à l'étude (voir tableau II).

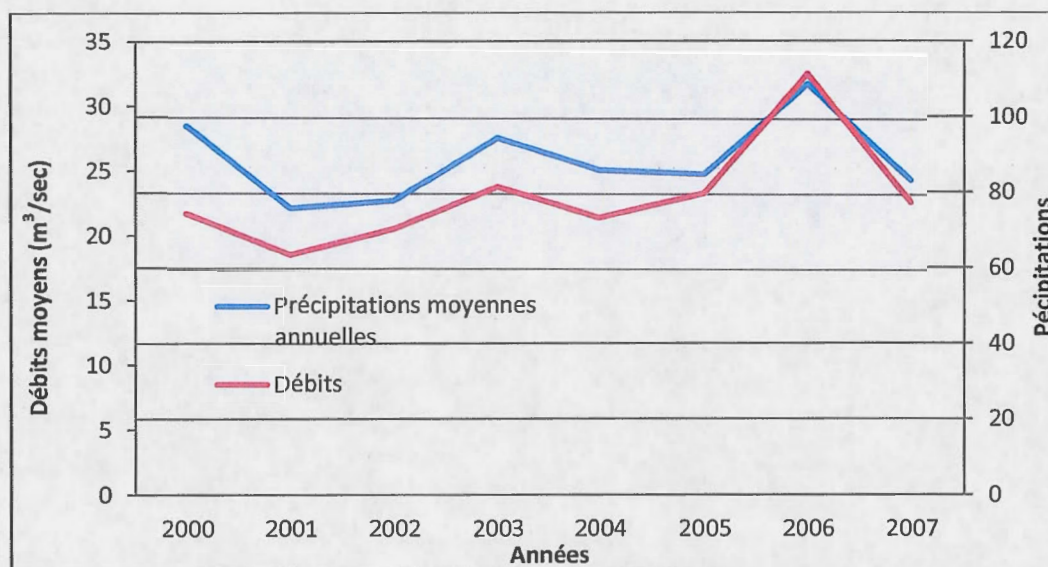


Figure 3.2 : Débits vs précipitations dans le bassin versant Petite Nation

Formule du coefficient de ruissellement ( $C_r$ ) : ou

$$C_r = \text{hauteur d'eau ruisselée (mm)} / \text{hauteur d'eau précipitée (mm)}$$

Pour calculer la hauteur d'eau précipitée, on a dû convertir le débit de mètres cubes seconde, en millimètres (mm). Quant à la hauteur d'eau ruisselée, il a fallu convertir les centimètres en millimètres (mm). Ce qui donna

$$C_r = 139,3 / 978,5 = 0,14 \text{ mètre} = 14 \%$$

Selon Noury (2005), un coefficient de ruissellement de 14 % soit 0,1364, correspond à un coefficient de ruissellement dans un bassin versant où la surface du sol comporte, en grande partie, des espaces boisés ou encore des espaces agricoles avec présence de champs cultivés. Le résultat que nous avons arrondi à 14 %, nous permet d'avancer que le ruissellement dans le bassin versant de la rivière Petite Nation se situe à cheval entre un couvert boisé et un couvert de champs. C'est effectivement le cas puisque



le couvert forestier représente 75 % de la superficie du bassin versant (RPNS 2010) et qu'on y retrouve aussi un couvert végétal de type agricole comprenant des prés et des champs cultivés dans la partie aval du bassin versant (voir tableau II).

Tableau II : Coefficient de ruissellement pour différentes couvertures du sol (Noury 2005)

Nature superficielle du bassin versant	Coefficient de ruissellement $C_r$
Bois	0,1
Prés, champs cultivés	0,2
Vignes, terrains nus	0,5
Rochers	0,7
Routes sans revêtement	0,7
Routes avec revêtement	0,9
Villages, toitures	0,9

### *3.3. Le module interannuel (Qan)*

À la lecture des tableaux III et IV ci-dessous, on remarque que la variation saisonnière est relativement importante dans le bassin versant de la Petite Nation car les débits augmentent au printemps de manière significative et redescendent tout au long de l'été pour atteindre le point le plus bas durant les mois d'automne et d'hiver. Ce type de



module interannuel des débits dans le bassin versant de la Petite Nation, est représentatif des bassins versants méridionaux du Québec (CEHQ 2012).

Puisqu'il s'agit d'un bassin versant s'écoulant dans l'axe nord-sud, on constate l'importance des débits lors des pointes du printemps soit dans les mois d'avril et de mai. Le module interannuel permet, du même coup, de constater à quel moment dans l'année, le bassin versant de la rivière Petite Nation est en période de crue ainsi qu'en période d'étiage. Il sera ainsi plus facile de calculer le coefficient de mensuel de débits  $C_q$ . Cependant, le module interannuel ne permet pas de calculer la présence de crue éclair (flash flood), qui pourrait changer l'écoulement durant une courte période (Voir tableau III).

Tableau III : Débits (Q) moyen mensuel et interannuel ( $Q_m$  et  $Q_{an}$ ) en m<sup>3</sup>/sec (1969-2007)

Q	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$Q_m$	16,94	14,16	16,6	55,4	58,23	25,47	14,86	10,10	8,16	10,33	18,86	21,6
$Q_{an}$	0,75	0,62	0,73	2,45	2,58	1,12	0,65	0,44	0,36	0,45	0,83	0,95

### 3.4 Le coefficient mensuel des débits ( $C_q$ )

Sachant que :  $C_q = \frac{Q_m}{\Sigma Q_{an}}$

$C_q < 1$  correspond aux mois de basses eaux

$C_q > 1$  correspond aux époques de hautes eaux

Les valeurs mensuelles ( $C_q$ ) correspondent à chacun des mois qui sont illustrés dans le tableau ci dessous.

Tableau IV : Coefficient mensuel des débits pour le bassin versant Petite Nation

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
$C_q$	1,41	1,18	1,38,	4,62	4,85	2,12	1,24	0,84	0,68	0,86	1,57	1,80

Il est ainsi possible d'illustrer ces coefficients sous la forme d'un graphique. Le coefficient mensuel de débit permet de constater que le bassin versant de la rivière Petite Nation est dans une situation de hautes eaux durant les mois de mars à juin-juillet, pour ensuite se modifier en basses eaux durant les mois de l'automne soit les mois d'août, septembre et octobre. Durant le reste de l'année, les débits du bassin versant se maintiennent autour et généralement un peu au-dessus du seuil mathématique qui est de 1. Durant les mois d'été, le bassin versant est au niveau le plus bas de l'année, essentiellement à cause de l'évapotranspiration ainsi que de l'écoulement qui est plus rapide que durant les mois d'hiver. Les hautes eaux ont lieu durant les mois du printemps, soit durant la fonte des glaces et de la neige, période durant laquelle le bassin versant de la Petite Nation maintient un débit au-dessus de la moyenne annuelle (voir figure 3.3).

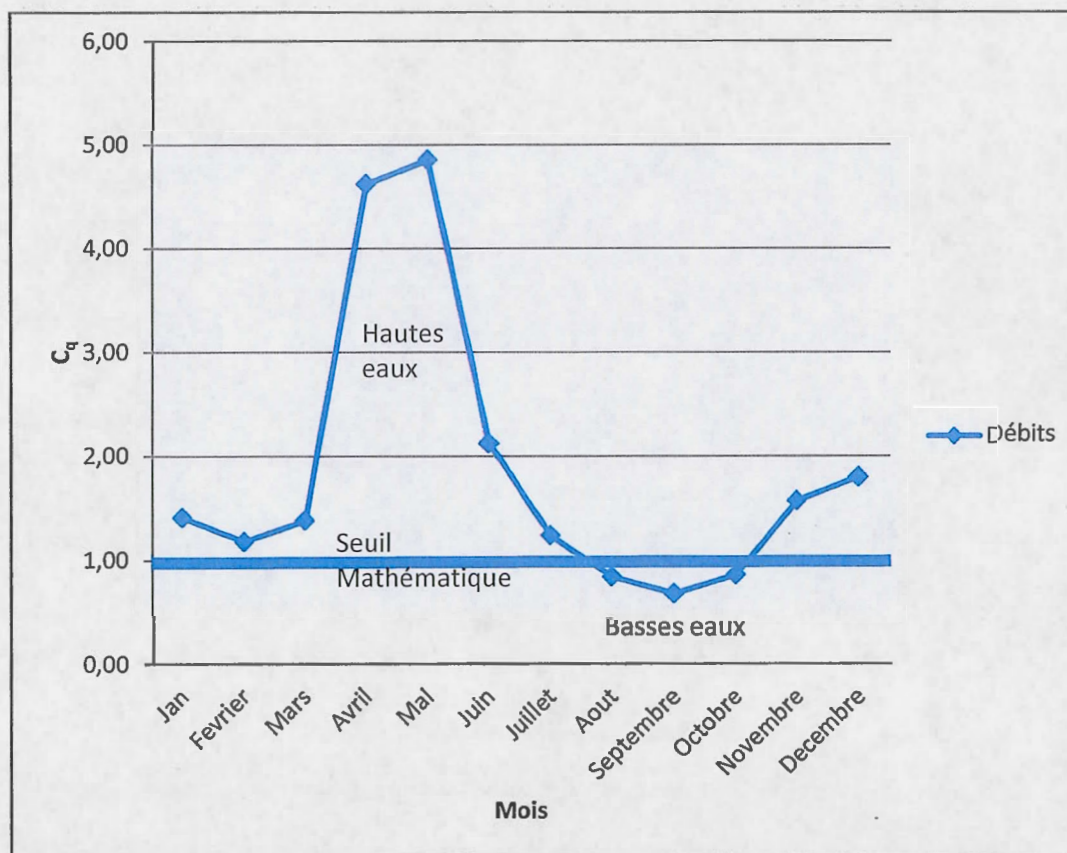


Figure 3.3 : Coefficient mensuel du débit pour le bassin versant de la rivière Petite Nation



### *3.5 Laminage dans le bassin versant*

On remarque dans la carte hydrologique du bassin versant Petite Nation (Voir figure 1.3), la présence de lacs dans la partie amont du bassin versant. Ces plans d'eau font en sorte que, lors de la fonte des neiges ou encore de précipitations importantes dans cette partie du bassin versant, ils agissent comme des tampons dans l'écoulement de l'ensemble du bassin versant. Les trois lacs les plus importants sont les lacs Simon, Gagnon et Preston; qui ont de grandes superficies. Ils possèdent, par le fait même, une grande capacité d'accumulation d'eau. De plus, ces lacs ont des décharges relativement importantes qui peuvent s'agrandir selon l'importance de l'écoulement. Cette capacité de réservoir permet un écoulement plus équilibré et les crues soudaines n'y sont pas fréquentes.

La présence de laminage dans le bassin versant permet d'avoir une sorte de zone tampon qui protège les municipalités situées dans la partie aval du bassin et qui sont plus à risque d'affronter des crues lors de la fonte des neiges ou lors de précipitations importantes durant les mois d'été. Plus on se rapproche de l'exutoire, plus la physionomie du bassin versant fait en sorte que la totalité de la ressource en eau s'engouffre dans une seule rivière, soit la rivière Petite Nation, alors qu'en aval, plusieurs rivières de plus petites envergures drainent cette même ressource. Il en résulte un laminage beaucoup plus important en amont qu'en aval.

En ce qui a trait à l'écoulement laminaire dans le bassin versant de la rivière Petite Nation, le cas du lac Simon est éloquent. Une étude parue en 2005, à la demande de l'Association des propriétaires du lac Simon, conclut que le temps de renouvellement des eaux du lac est de 860 jours (Hémisphère 2005). Sachant que la norme gouvernementale pour le temps de renouvellement de l'eau dans les lacs du Québec est de 580 jours (Hémisphère 2005), on peut en déduire que le lac Simon possède une dimension



imposante et qu'il contrôle l'écoulement d'une masse d'environ 1 302 450 000 m<sup>3</sup> d'eau toujours selon le rapport Hémisphère (2005). Le laminage de la ressource en eau dans la partie amont du bassin versant de la rivière Petite Nation est donc directement relié à la ressource en eau qui passe par le lac Simon.

On ne peut ignorer la présence de plusieurs barrages dans le bassin versant de la Petite Nation qui retiennent une partie de l'écoulement. La plupart de ces barrages ne possèdent pas de nom proprement dit, car ils sont laissés à l'abandon, parfois depuis plusieurs décennies. Certains sont des legs de la glorieuse époque des moulins à scie alimentés par la drave. D'autres ont été construits dans les années 1960 -1970 pour retenir l'eau afin de mieux alimenter des lacs et de garantir la ressource aux agriculteurs pour leurs cultures (RPNS 2011). Le gouvernement du Québec a consenti des investissements depuis les années 2000 pour remettre en état certains barrages. À titre d'exemple, en 2012, il a investi 104 514,56 \$ (MDDEFP 2012), pour restaurer les barrages se trouvant à l'exutoire du lac Montjoie qui est situé complètement en amont dans le bassin versant. Une cartographie des installations humaines sur les cours d'eaux du bassin versant de la Petite Nation, permet de visualiser la disposition des barrages.

De plus en plus, des municipalités investissent dans la réfection des ponceaux dans le bassin versant. Plusieurs de ces ponceaux ont été remplacés par des ponceaux de plus grande dimension, qui permettent un meilleur écoulement de la ressource et qui diminuent les risques d'inondation sporadiques sur les routes.

Le bassin versant de la rivière Petite Nation contient aussi plusieurs chutes et rapides qui présentent essentiellement de faibles dénivelés. Tel que mentionné plus haut, seule la chute de Plaisance a une hauteur importante. Cependant, une section de la

rivière Petite Nation, entre les municipalités de Ripon et de Plaisance, contient plusieurs rapides qui constituent une barrière non négligeable lors de la fonte des glaces et l'écoulement des précipitations. On ne dénombre pas d'embâcles dans ces rapides et on peut donc en déduire que l'écoulement de la rivière Petite Nation à cet endroit est relativement facile malgré ces obstacles naturels.

Le seul endroit dans le bassin versant de la Petite Nation où il pourrait y avoir un problème au niveau de l'écoulement se trouve aux Chutes Marcotte. Ces chutes se situent dans la municipalité de St-André-Avellin. C'est à cet endroit que nous avons pu constater, lors de certaines crues printanières, une augmentation du risque d'inondation pour la municipalité en raison de la forme d'entonnoir de ces chutes. Quoi que peu élevé, la présence de cet entonnoir naturel perturbe l'écoulement lors de la crue printanière ou encore lors d'une crue soudaine durant l'été, comme ce fut le cas en 1972 et en 2008 (MSP 2010). Ces chutes ne représentent pas de danger pour les constructions anthropiques puisque celles-ci sont isolées des pôles économiques de la région et difficiles d'accès.

### 3.6 Observations des débits

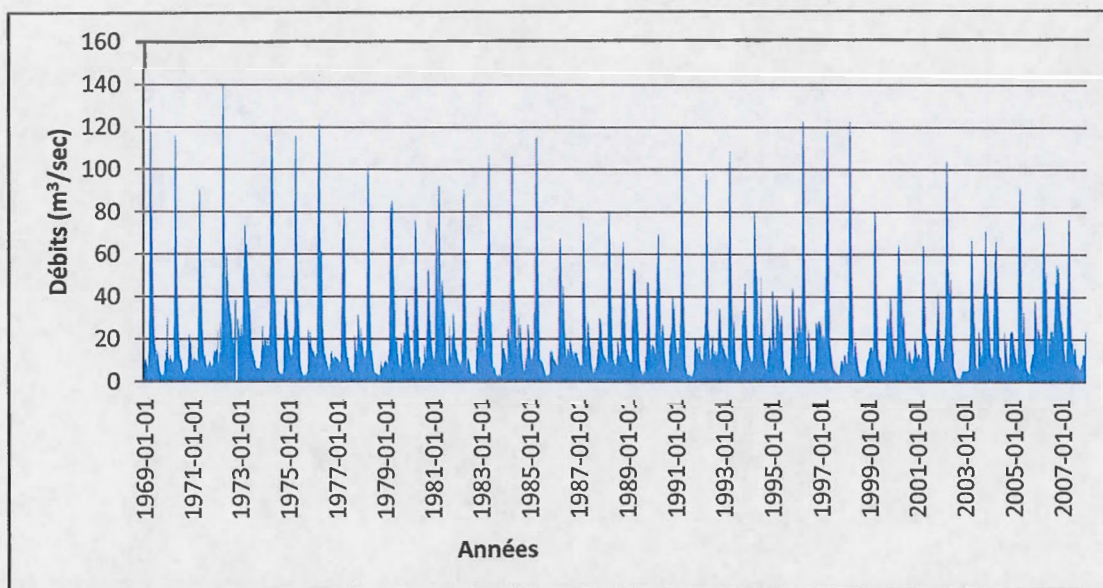


Figure 3.4 : Débit journalier station 040406 (1969-2007)

Les données sur les débits journaliers pour la période 1969-2007 dans le bassin versant de la Petite Nation proviennent de la station 040406 du CEHQ (voir figure 3.4 ainsi que 3.5). Elles nous indiquent que le bassin versant possède un écoulement comportant une période de crue durant les mois d'avril, de mai et de juin. Cette période correspond aux mois pendant lesquels il y a fonte des neiges et des précipitations relativement plus élevées que la moyenne annuelle. Les débits durant cette période sont donc tributaires de l'accumulation de neige sur le territoire du bassin versant et surtout de l'importance du couvert de glace tant sur les lacs que sur de la rivière Petite nation et ses affluents.



Sachant que la superficie des lacs dans le bassin versant représente plusieurs kilomètres carrés, on peut clairement avancer que la fonte de cette immense réserve en eau influence implicitement l'écoulement de la ressource dans l'ensemble du bassin versant, puisque les lacs sont situés en amont dans le bassin. Ces lacs agissent aussi comme régulateurs lorsque leur niveau d'eau augmente.

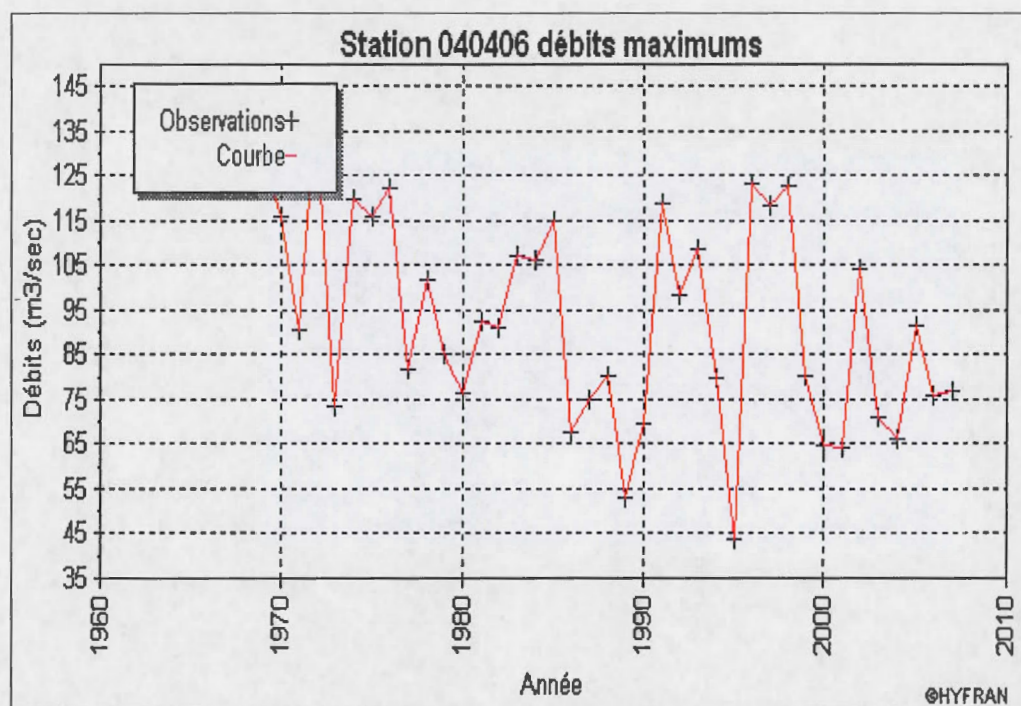


Figure 3.5 : Modélisation des débits maximums avec le logiciel HYFRAN (1969-2007)

Cette régulation limite l'augmentation du débit dans la rivière Petite Nation ainsi que ses affluents. Il en résulte, dans la plupart des cas, une augmentation soutenue du régime en eau, mais des écarts positifs et négatifs minimes. Cette limitation dans



l'augmentation du régime en eau permet aussi une diminution du risque d'inondation pour la partie aval du bassin versant, partie plus à risque puisqu'elle se situe dans une plaine plus propice aux inondations lors de la fonte des neiges. Il est malheureusement impossible de quantifier l'importance des lacs dans l'écoulement de l'eau dans le bassin versant car il n'existe à l'heure actuelle qu'une seule station de mesure des débits encore en fonction, soit la station 040406. De plus, le gouvernement ne possède que depuis peu un registre des inondations dans la Région de l'Outaouais.

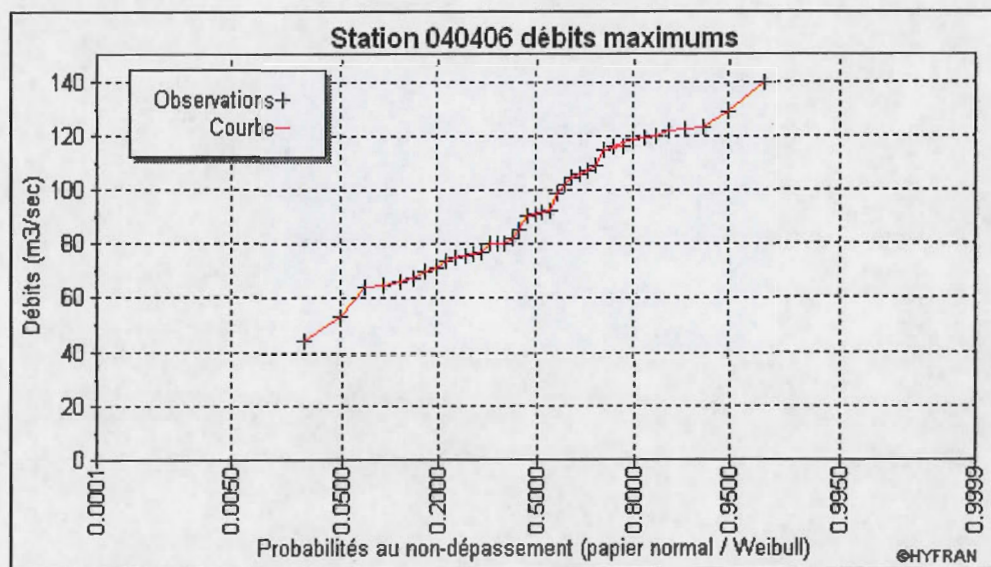


Figure 3.6 : Probabilité des débits maximums à la station 040406 (1969-2007)

L'observation des débits nous renseigne cependant sur le comportement du bassin versant durant l'année et surtout durant l'espace-temps à l'étude. Pour voir comment les débits évoluent dans un bassin versant, il faut utiliser les maximums enregistrés. Ceux-ci

nous donnent les débits extrêmes possibles dans le bassin versant et ainsi nous permettent de modéliser de façon statistique les débits extrêmes dans le bassin.

Les observations des débits maximaux annuels enregistrés à la station portant le numéro 040406 données par le CEHQ s'échelonnent de 1969 à 2007. L'utilisation de ces années dans l'analyse des débits est implicitement reliée à l'information utilisable selon les données fournies par l'OBV RPNS, le CEHQ ainsi que le MDDEFP.

A la lecture du tableau (voir annexe F) sur les débits maximums enregistrés à la station 040406 pour les années à l'étude, il appert que les débits maximums annuels varient entre 43,92 et 140 m<sup>3</sup>/sec. Le Ministère de la Sécurité publique a calculé le seuil d'inondation mineur pour la station 040406 à 82 m<sup>3</sup>/sec (MSP, 2012). On constate que, plusieurs fois entre les années 1969 et 2007, les débits enregistrés par la station 040406 dépassent les 82m<sup>3</sup>/sec.

Le logiciel HYFRAN, permet d'incorporer les débits maximums annuels dans un papier de probabilité. Il est donc possible de voir les probabilités de dépassement ainsi que de non-dépassement de chacune des données enregistrées pour la période à l'étude.

Il convient de préciser que le débit dans le bassin versant de la rivière Petite Nation est très changeant. Avec une amplitude de 96,08 m<sup>3</sup>/sec, entre les maximums annuels pour les années 1969-2007, le bassin versant de la Petite Nation connaît des maximums qui diffèrent grandement au fil des années et qui sont essentiellement dus aux précipitations sur le territoire du bassin versant, dans la plupart des cas sous forme de neige et de glace durant les mois d'hiver.

On constate certaines lacunes dans les données recueillies. Il y a, durant la période 1969-2007, cinq mois pour lesquels il n'y a pas eu de données de comptabilisées. Ce sont les mois de novembre et décembre 1972, ainsi que les mois d'octobre, novembre et décembre 2007. Cependant, ces données manquantes ne posent pas de problème sérieux dans l'analyse ainsi que dans l'extrapolation des maximums mensuels et annuels, puisque qu'elles se rapportent à la période d'étiage d'automne. En effet, sauf exception, il est quasiment impossible d'avoir un débit plus important que celui qu'on retrouve durant la période de crue printanière.

Pour bien comprendre l'évolution des débits dans le bassin versant de la rivière Petite Nation, il faut étudier la fréquence des débits enregistrés à la station 040406. On a donc effectué une compilation des données de débits afin de comptabiliser et de représenter sous forme graphique la fréquence des débits maximums annuels dans ce bassin versant. En divisant la représentation graphique des maximums annuels par décennies, il sera possible de comprendre comment les débits enregistrés dans le bassin versant varient au fil du temps.

Avec un étalage d'environ  $100 \text{ m}^3/\text{sec}$  entre les débits maximaux, on constate une amplitude très importante dans les extrêmes pour le bassin versant. Cette amplitude peut être expliquée par l'importance du couvert neigeux durant les mois hivernaux et surtout par des précipitations de grandes envergures sur de courtes périodes, ce qui augmente de manière importante le débit du bassin versant, mais seulement pour un court laps de temps.



Dans la figure 3.7 on observe une tendance vers des débits extrêmes plus importants. Les extrêmes enregistrés dans le bassin versant de la Petite Nation sont dispersés dans le temps; on n'identifie pas une période particulière pendant laquelle les débits extrêmes se suivent, ce qui ne permet pas de comprendre l'évolution des débits maximums enregistrés dans le bassin de la Petite Nation, mais permet de constater que ce bassin versant évolue et que ses débits extrêmes sont relativement imprévisibles.

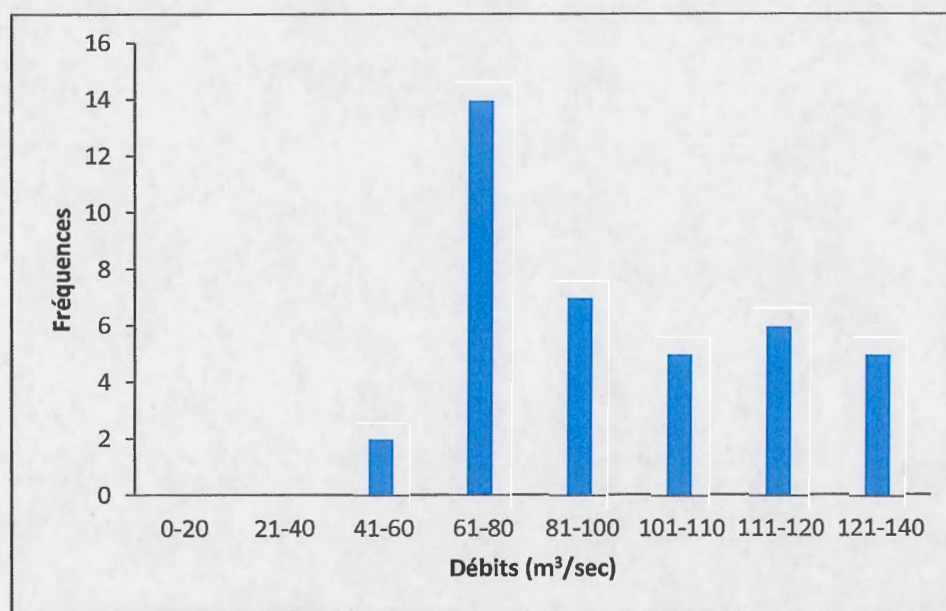


Figure 3.7 : Fréquences des débits maximums à la station 040406 (1969-2007)

Afin de comprendre l'évolution des débits maximums annuels, une figure fut créée pour chacune des décennies à l'étude. Cette façon de faire nous renseigne sur l'évolution des débits selon les années et permet de comprendre et de visualiser dans quelles décennies les débits maximaux sont les plus importants. Elle permet particulièrement de



comprendre et de visualiser l'augmentation ou la diminution de l'intensité des débits maximaux dans le bassin versant. Ce mode d'analyse permet d'en obtenir un portrait beaucoup plus complet.

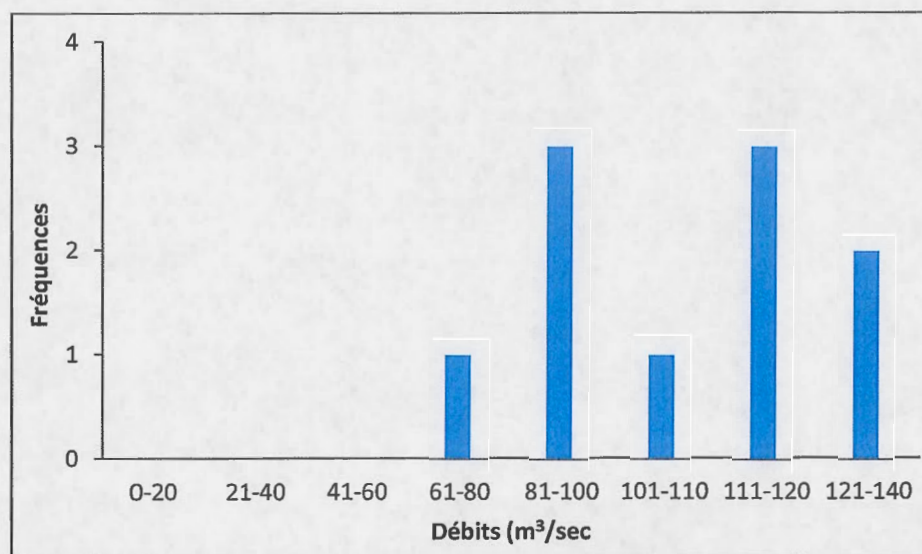


Figure 3.8 : Fréquences des débits maximums années 70

La décennie 70 fut une décennie où l'on releva plusieurs des débits les plus importants dans le bassin versant de la Petite Nation. Le plus important débit maximum jamais enregistré à la station 040406 fut enregistré en mai 1972. On remarque que dans cette décennie, un débit de plus de 100 m³/sec fut enregistré 6 fois, ce qui représente des débits d'inondations pouvant provoquer des dommages importants aux habitations riveraines ainsi qu'aux structures gouvernementales installées près des cours d'eau du bassin versant de la Petite Nation.

Dans les années 80, les débits maximums annuels furent beaucoup moins importants tant par leur volume que par leur fréquence. On remarque dans la figure 3.9, une concentration des maximums annuels dans la classe de débits représentant la moyenne qui est de  $92,81 \text{ m}^3/\text{sec}$  ainsi que dans la classe 61 à  $80 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Cependant, durant cette décennie on a enregistré tout de même des débits de plus de  $100 \text{ m}^3/\text{sec}$  soit des débits de grandes intensités (CEHQ 2012). L'étalement des débits maximums annuels dans cette décennie nous démontre que l'écoulement de la ressource en eau dans le bassin versant de la Petite Nation est en changement, et ce à tous les ans.

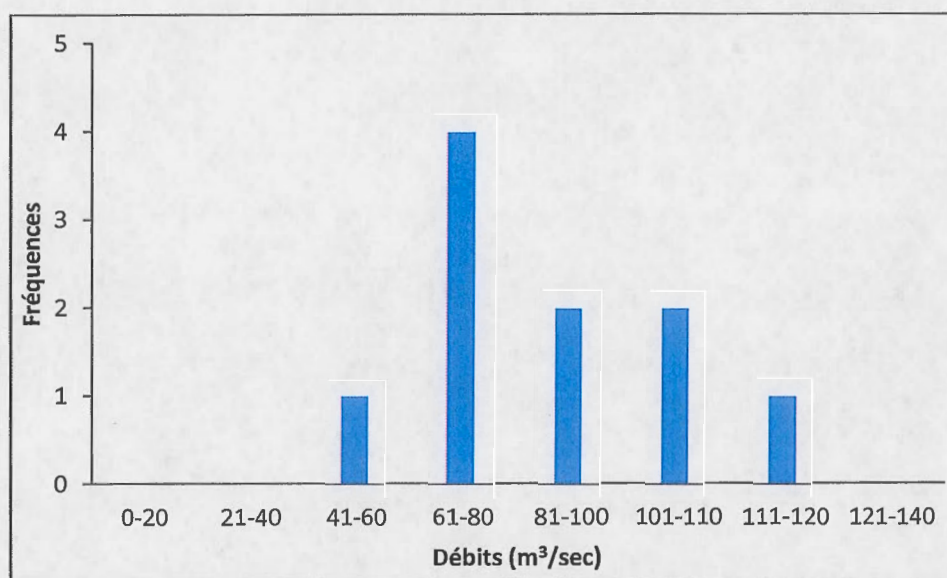


Figure 3.9 : Fréquences débits maximums années 80

La décennie 90 quant à elle comprend des débits extrêmes parmi les plus importants jamais enregistrés à la station 040406. Durant les années 1996-1997 ainsi que 1998 ont tous enregistré des débits maximums supérieurs à  $115\text{m}^3/\text{sec}$ . Une augmentation du couvert neigeux par rapport aux autres années est fort probable puisque ces débits furent enregistrés durant les mois d'avril et de mai. Cependant, on ne possède aucune donnée précise sur le couvert neigeux et le couvert de glace durant ces années.

Lorsqu'on observe les données pour cette décennie, on remarque cependant qu'en 1995 le débit maximal s'est situé entre 40 et  $60\text{ m}^3/\text{sec}$ . Encore une fois, il est possible de déduire qu'un très faible couvert neigeux est la cause principale de ce débit maximal de faible ampleur. Il est à souligner que ce débit fut enregistré durant le mois de novembre, ce qui est extrêmement rare car, dans la plupart des cas, le mois de novembre est un mois où les débits sont en augmentation par rapport aux débits des mois d'été. Cependant il est exceptionnel d'enregistrer des débits de crues durant le mois de novembre qui est supérieur aux débits enregistrés durant les mois d'avril et de mai. L'hypothèse la plus plausible pour expliquer ce phénomène serait en fait la présence durant le mois de novembre 1995 d'un ou de plusieurs épisodes d'intenses précipitations qui augmentèrent de manière importante le débit dans le bassin versant Petite Nation.



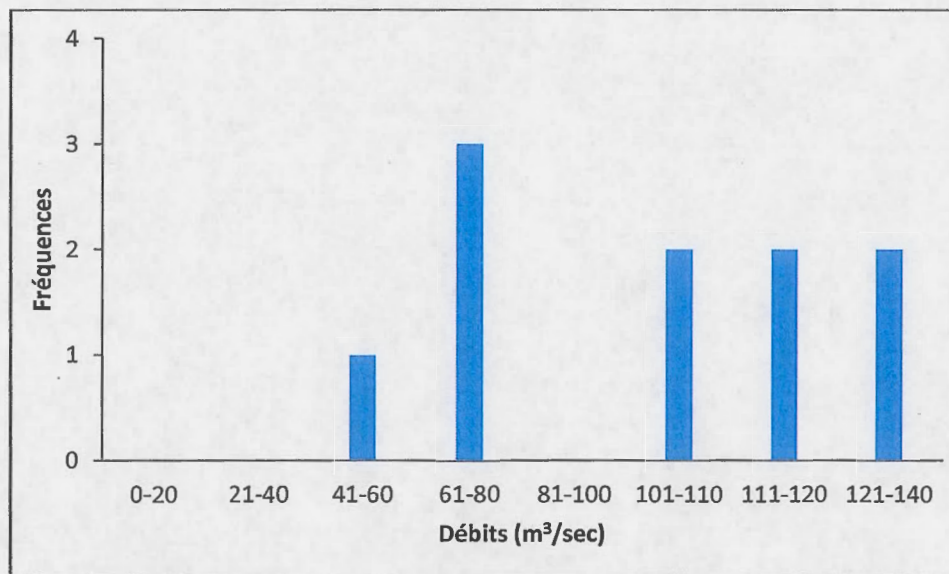


Figure 3.10 : Fréquences débits maximums années 90

Les années 2000 à 2007 comportent des débits maximums que l'on peut qualifier d'intensités moyennes car durant six des huit années on a enregistré un débit maximum inférieur à la moyenne. Comme on peut le constater dans la figure 3.11, une seule année est au-dessus de la moyenne des débits maximums annuels. L'importance du couvert neigeux et des précipitations est encore une fois l'élément le plus significatif pour comprendre la fréquence de l'intensité des débits dans le bassin versant Petite Nation.



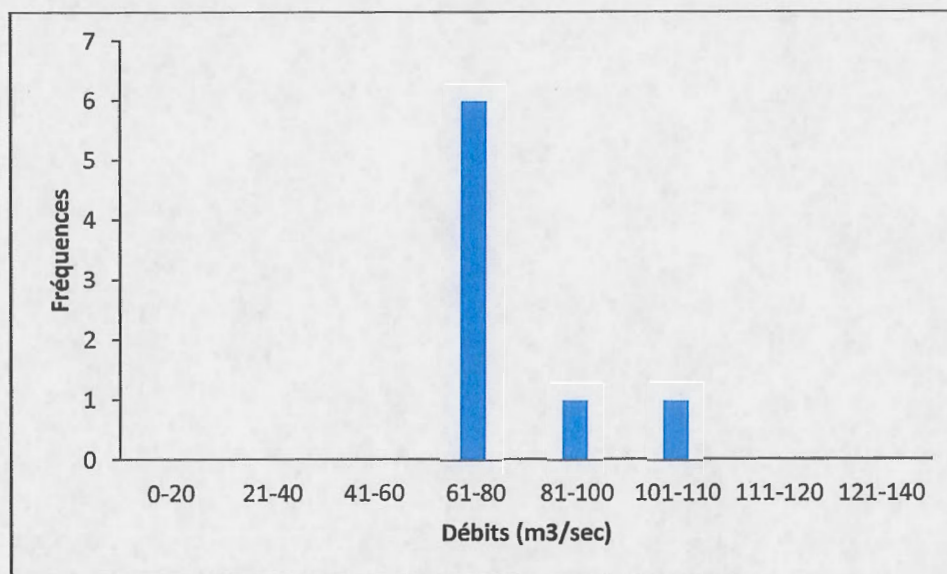


Figure 3.11 : Fréquences débits maximums années 2000

Avec ces données, il est possible de visualiser la complexité de l'écoulement de la ressource en eau dans le bassin versant de la Petite Nation. On doit noter la disparité des fréquences dans la période temporelle à l'étude, ce qui permet de constater que le bassin versant Petite Nation est en constante évolution au niveau de l'écoulement de sa ressource en eau et qu'il est directement influencé par les précipitations durant les mois d'été et d'automne ainsi que par le couvert de neige et de glace qu'on retrouve durant les mois d'hiver à chaque année.

C'est durant le mois de mai 1972 qu'on a relevé à la station 040406 le débit le plus important jamais enregistré soit un débit de 140 m³/sec inscrit le 11 mai 1972. On

remarque qu'il y a eu une importante augmentation des débits entre le 3 et le 4 mai 1972. En effet, le débit passa durant cette période de 76 à 111 m<sup>3</sup>/sec soit une augmentation de 68,47 % en l'espace de 24 heures. Cette augmentation soudaine s'explique par le fait que durant le mois de mai 1972, la température s'éleva subitement, dépassant substantiellement le point de congélation.

Dans les faits, le 1<sup>er</sup> mai 1972, Environnement Canada enregistra à la station météorologique de Montebello Sedbergh, une température de 19,4 °C (ENVIRONNEMENT CANADA 2012). Cette température nettement supérieure aux normales saisonnières fit fondre de grande quantité de neige et de glaces sur les différents cours d'eau du bassin versant de la Petite Nation. Cette masse d'eau mit plusieurs jours à s'écouler dans le bassin versant, augmentant ainsi grandement les débits dans la rivière Petite Nation voir figure 3.12. En l'absence de données dans les 3 sous bassins, il nous est impossible de localiser celui qui connu l'écoulement de la plus grande quantité d'eau durant cette période.

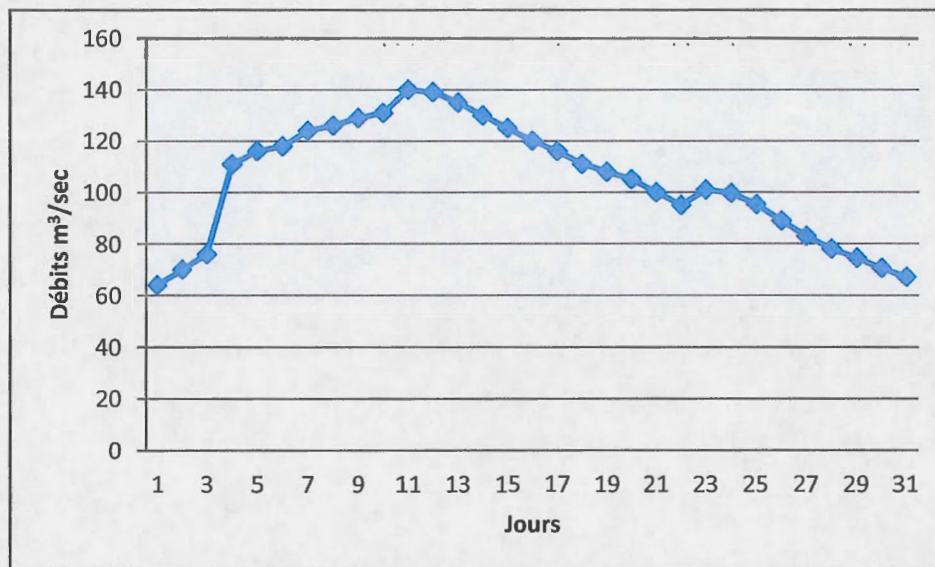


Figure 3.12 : Débits pour le mois de mai 1972

À partir du 11 mai 1972, on note une diminution du débit à la station 040406. Cette diminution s'explique par une baisse des températures vers les températures de saison et le laminage effectué par les différents plans d'eaux présents dans le bassin versant Petite Nation. Ceux-ci une fois les températures diminuées proche du point de congélation ont retenu la plupart du couvert neigeux et de glaces s'étant liquéfié. C'est ainsi que l'on peut comprendre l'énorme rôle qu'occupent les lacs Gagnon et Simon, pour ne nommer que ceux-là, dans l'écoulement de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation. Bien que répertorié par le gouvernement tant fédéral que provincial, aucun document ne nous renseigne sur les dommages matériels ni sur le nombre de terres inondées durant cet épisode historique.

### 3.7. Modélisation avec le logiciel HYFRAN

En utilisant le logiciel Hyfran, il a été possible d'effectuer l'analyse des données recueillies pour la station 040406 dans le bassin versant de la rivière Petite Nation. À la lecture du tableau V, les différents coefficients calculés par HYFRAN nous indiquent que la distribution des données est centralisée.

Après avoir calculé les caractéristiques des données de la station 040406, on doit maintenant faire passer l'échantillon à travers trois tests d'hypothèse pour s'assurer de sa conformité statistiques. Ces trois tests sont les tests de Wald-Wolfowitz, Wilcoxon et Kendall.

#### *3.7.1. Tests d'hypothèses*

Les tests d'hypothèse utilisés dans ce mémoire ont permis d'évaluer trois critères statistiques pour comprendre comment se distribuent les données dans la série de données des débits de la station de mesure des débits 040406 de la rivière Petite Nation. Ces trois tests d'homogénéité des données sont les critères d'indépendance, les critères d'homogénéité et finalement les critères de stationnarité de l'échantillon. Ainsi, les différents tests d'homogénéité appliqués sont ceux utilisés par le logiciel HYFRAN soit le test d'indépendance de Wald-Wolfowitz, le test d'homogénéité à l'échelle annuelle de Wilcoxon et le test de stationnarité de Kendall (Chaire en hydrologie statistique, 1998).



Tableau V : Test d'hypothèse pour vérifier le caractère aléatoire de l'échantillon des débits maximums de la rivière Petite Nation pour la période 1969-2007.

Test d'hypothèse	Statistique	Seuil observé
Test d'indépendance (Wald-Wolfowitz) (U)	$ U  = 1.029$	0.3036
Test de stationnarité (Kendall) (K)	$ K  = 2.395$	0.01663
Test d'homogénéité à l'échelle annuelle (Wilcoxon) (W)	$ W  = 1.714$	0.08651

#### 3.7.1.1. Test d'homogénéité à l'échelle annuel (Wilcoxon)

Ce test permet de vérifier si la moyenne de la série de données à l'étude est significativement différente d'une autre série aussi à l'étude (Béliveau 2006) sachant que le test de Wilcoxon permet de constater si deux échantillons peuvent être issus de la même loi en étudiant la façon dont les valeurs de chacune des séries de données se situent parmi les statistiques d'ordre de l'échantillon global. Ne possédant qu'une seule série de données, nous ne pouvons pas utiliser ce test puisque celui-ci ne répond pas à nos besoins.

#### 3.7.1.2. Test d'indépendance de Wald-Wolfowitz

Le test de Wald-Wolfowitz permet de vérifier l'indépendance entre les données qui forment la série de données. On peut ainsi savoir si chacune des données est dépendante des autres et si l'échantillon peut renfermer des erreurs dues à la dépendance des données entre elles. Le test de Wald-Wolfowitz nous a permis de constater que les données ne sont pas dépendantes les unes des autres. Le taux de signification de 5 % est

accepté et confirme l'indépendance des données de la série. Ce taux de signification est conforme aux normes pour ce type de test d'hypothèse.

### 3.7.1.3. Test de stationnarité de Kendall

Parmi les tests les plus employés dans la littérature hydrométéorologique pour cette dernière catégorie, le test de Mann-Kendall est le plus performant (Béliveau 2006). Il permet de vérifier l'hypothèse principale selon laquelle les données sont stationnaires. Par ailleurs, ce test de stationnarité est capable de détecter une tendance linéaire de la moyenne (ou de la variance) de la série (Sneyers, 1990). Autrement dit, les données n'ont pas tendance à augmenter ou à diminuer dans le temps. Nous devons rejeter le seuil de 5 %, mais accepter le seuil de 1 %, confirmant ainsi que les données n'ont aucune tendance dans le temps.

### 3.7.2. *Calcul des valeurs caractéristiques*

Les valeurs caractéristiques sont les valeurs calculées à partir des données recueillies, tant les données de précipitations que les données de débits dans le bassin versant de la rivière Petite Nation. Ces valeurs qui caractérisent la distribution des données sont la moyenne, la médiane, le maximum et le minimum, ainsi que les valeurs de dispersion telles que l'écart-type, le coefficient d'aplatissement, le coefficient de dissymétrie et le coefficient de variation (Llamas, 1993). Ces valeurs calculées, permettent de comprendre comment se comporte l'échantillon de données ainsi que son étendue et ses caractéristiques distinctives qui permettent une compréhension totale et précise des

données recueillies, permettant du même coup une extrapolation des données des plus précises.

### *3.8. Analyse fréquentielle des mesures de débits de la station 040406*

L'analyse fréquentielle est une méthode statistique de prédiction consistant à étudier les événements passés d'un processus donné afin d'établir les probabilités que ce processus ne revienne dans un futur plus ou moins lointain. C'est à partir de la mise en œuvre d'un modèle fréquentiel d'analyse que la probabilité d'apparition du processus peut être calculée. Cette analyse s'appuie sur plusieurs techniques statistiques permettant ainsi une meilleure compréhension du processus. L'analyse des données permet de s'assurer de leur représentativité et de leur qualité et de s'assurer ainsi de la véracité des conclusions (Musy 2005). L'analyse fréquentielle est aussi utilisée comme méthode pour étudier les événements ainsi que leurs caractéristiques. On peut donc se baser sur l'ajustement d'une des lois de probabilités à la série des observations passées pour choisir la loi de probabilité la plus apte à modéliser l'extrapolation de la série de données (Béliveau, 2006).

Pour l'analyse des débits de la station 040406 du bassin versant de la rivière Petite Nation nous avons utilisé une série particulière de données; il s'agit des maximums annuels des débits enregistrés à cette station entre les années 1969 et 2007. L'échantillon des débits maximaux annuels fut soumis à trois lois de distribution parmi les plus fréquemment utilisées selon la littérature scientifique (Noury 2005) et ce, depuis plusieurs années (Llamas, 1993). D'ailleurs, ces lois permettent l'analyse des valeurs dites maximales. Ces lois de distribution sont la loi normale, la loi log-normale et la loi Pearson-III.

### 3.8.1. Critères Aic et Bic

Le critère AIC est défini par :

$$AIC = 2 \log (L) + 2 K$$

Où

L est la vraisemblance maximisée et

K le nombre de paramètres libres dans le modèle.

Le critère AIC est pénalisée par 2 fois le nombre de paramètres libres, la déviance du modèle  $2 \log (L)$ . Le critère BIC, quant à lui, pénalise le nombre de variables présentes dans le modèle. Le critère AIC fut créé pour retenir des variables pertinentes lors de prévisions, tandis que le critère BIC vise plutôt la sélection de variables statistiquement significatives (Béliveau 2006).

Le critère BIC quant à lui se définit par  $BIC = 2 \log (L) + K \log (n)$

Où

L est la vraisemblance maximisée

K le nombre de paramètres libres dans le modèle.



Tableau VI : Critères AIC ET BIC de l'échantillon

Loi statistique	nombre de paramètres	XT (Débits)	P (Mi)	P (Mi  x)	BIC	AIC
Log normale (LN) (Maximum de vraisemblance)	2	204,5	33,33	47,05	364,612	361,285
Gumble (EV) (Maximum de vraisemblance)	3	148,599	33,33	31,6	365,408	360,418
Log-Pearson type III (LP3) (Méthode SAM)	3	170,258	33,33	21,34	366,193	361,203

Où

XT= débits en m<sup>3</sup>/sec

P (Mi)= probabilité a priori

P (mi | x)= probabilité a posteriori

Sachant que la loi statistique la plus précise pour les données à l'étude est la loi log normale, nous l'avons choisie pour extrapoler les débits de la rivière Petite Nation et connaître le fonctionnement des extrêmes dans ce type de bassin versant. Ce choix nous permet aussi de comprendre la récurrence des débits extrêmes. La loi log normale est illustrée dans la figure 3.13 avec la couleur verte.

Chacune des lois statistiques évoluent selon un axe similaire jusqu'au facteur de retour du 0-2 ans et, par la suite prennent une trajectoire distincte les unes des autres en fonction de leurs spécificités respectives. Quant aux extrêmes, on constate aussi que chacune des lois évolue de manière unique, ce qui fait en sorte que pour la période de retour de 0-10 000 ans, les trois lois utilisées ont des débits ayant un très grand écart.

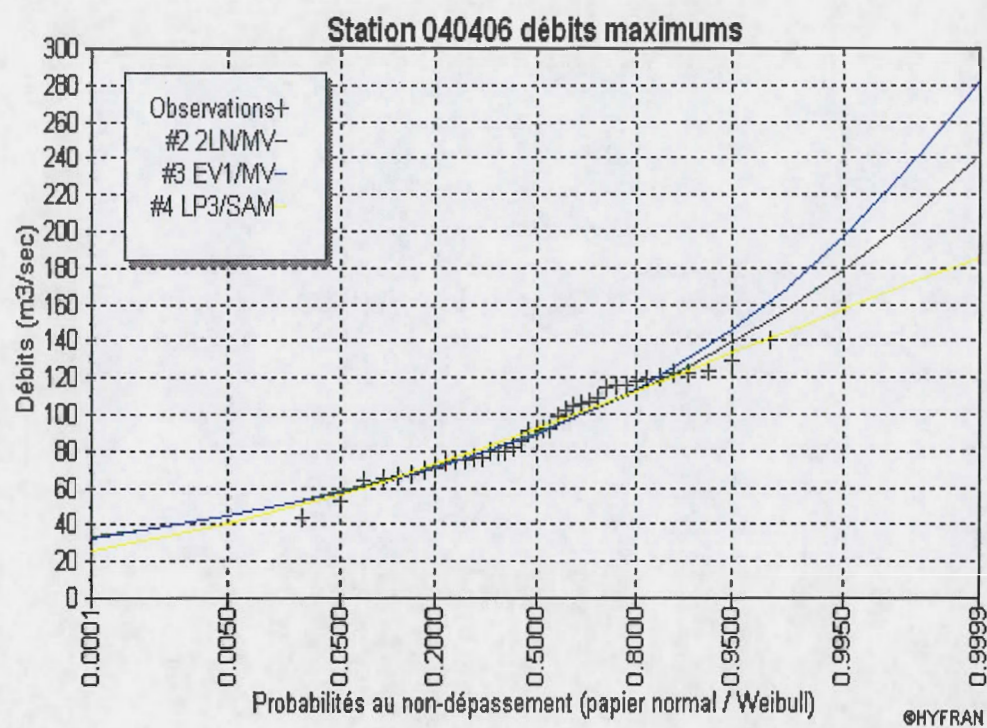


Figure 3.13 : Modélisation des débits à la station 040406 (1969-2007) à l'aide des lois; LN, EV, LP3

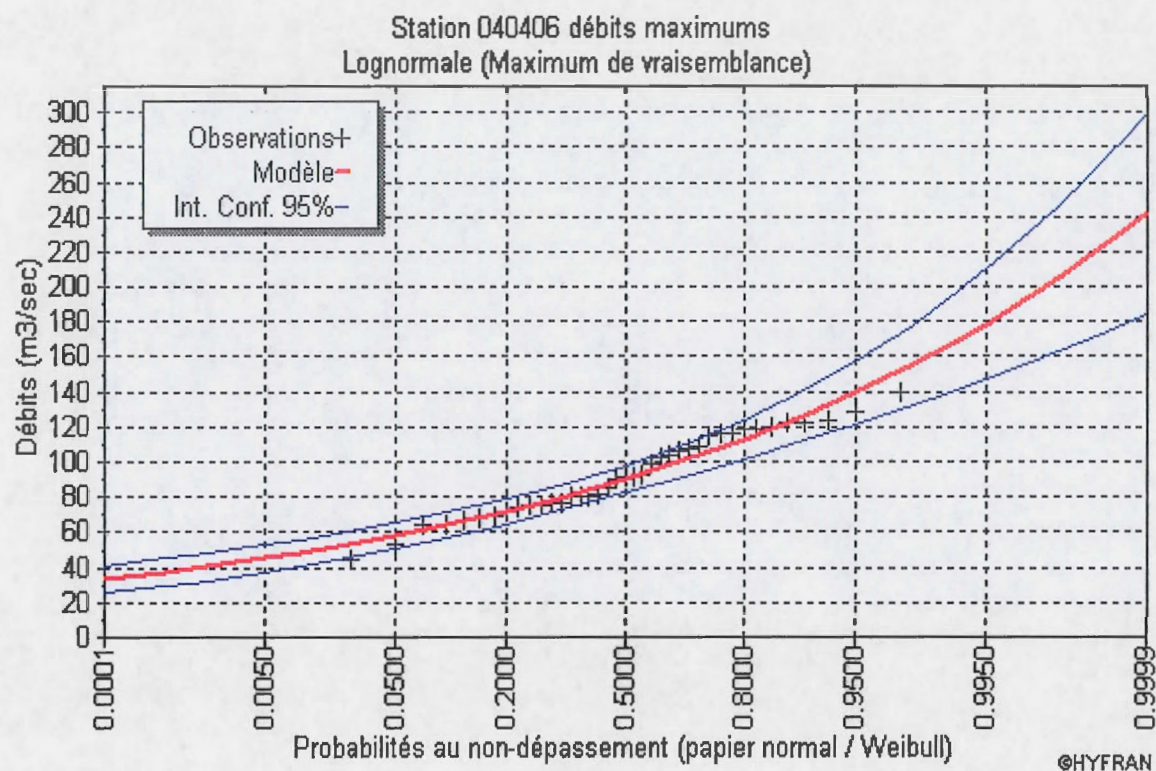


Figure 3.14 : Extrapolation des données à la station 040406 (1969-2007) avec la loi log normale



### 3.8.2 Utilisation de la loi log normale

Avec l'utilisation de la loi de log normale (voir figure 3.14), l'intervalle de confiance utilisé fut de 95 %. C'est-à-dire que chaque donnée modélisée a 95 % de chance de contenir la vraie valeur du paramètre estimé. Sachant que l'intervalle de confiance comporte des valeurs qui ne sont pas statistiquement et significativement différentes du résultat observé, il est important de comprendre que les bornes supérieures et inférieures de l'intervalle de confiance représentent les valeurs les plus éloignées du résultat qui ne lui sont pas statistiquement différentes.

De plus, les valeurs qui sont situées à l'extérieur des bornes de l'intervalle de confiance sont statistiquement différentes du résultat observé et elles ne sont donc pas comptabilisées dans les probabilités de dépassement et de non-dépassement.

L'extrapolation des débits enregistrés à la station 040406 dans le bassin versant de la rivière Petite Nation selon les paramètres de la loi log normale permet de calculer différents extrêmes au niveau des débits maximaux s'écoulant dans le bassin versant. Le logiciel HYFRAN permet le calcul de ces débits modélisés selon la loi log normale ainsi que le calcul des différentes périodes de retour.

Ces périodes de retour s'échelonnent entre 1 an et 10 000 ans soit le maximum que le logiciel HYFRAN offre. On peut donc voir et comprendre comment les débits extrêmes sont répartis en fonction de leurs probabilités à être dépassés en intensité ainsi que les probabilités à ne pas être dépassées. Le tableau vii suivant illustre les résultats obtenus.



Où

Q= Probabilité de non-dépassement en chiffre absolue

T=Temps de retour en année

XT= Débit en m<sup>3</sup>/sec d'une certaine période de retour

Tableau VII : Résultat de l'extrapolation des débits maximums avec la loi log normale

T	Q	XT
1000	0,999	204,5
200	0,995	178,3
100	0,99	166,9
50	0,98	155,2
20	0,95	139,2
10	0,9	126,3
5	0,8	112,3
3	0,6667	100,7
2	0,5	89,78
1,4286	0,3	78,09
1,25	0,2	71,76
1,1111	0,1	63,82
1,0526	0,05	57,93
1,0204	0,02	51,95
1,0101	0,01	48,31
1,005	0,005	45,21
1,001	0,001	39,42
1,0005	0,0005	37,37
1,0001	0,0001	33,34

Plus les débits modélisés sont élevés, plus le temps de retour est grand et donc, du même coup il y a moins de chance que ce débit revienne. Les débits extrêmes engendrent, dans la plupart des cas, des inondations et causent des dégâts matériels. Sachant que le maximum enregistré à la station 040406 pour le temps de la recherche est de  $140 \text{ m}^3/\text{sec}$ , on peut donc conclure que ce maximum représente une période de retour se situant dans la période de 20-25 ans.

Tableau VIII : Caractéristiques statistiques de la loi log normale ainsi que de l'échantillon des débits enregistrés à la station 040406 (1969-2007)

Station 040406 débits maximums	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum (m3/sec)	0	43,92
Maximum (m3/sec)	Aucun	140
Moyenne (m3/sec)	93,03	92,81
Écart-type	25,22	23,41
Médiane (m3/sec)	89,78	91,1
Coefficient de variation (Cv)	0,2711	0,2523
Coefficient d'asymétrie (Cs)	0,8334	0,04117
Coefficient d'aplatissement (Ck)	4,26	1,957

La tableau VIII permet de comprendre les différentes caractéristiques statistiques de l'échantillon à l'étude, surtout de la loi log normale. Elle permet du même coup de visualiser les différences minimales entre les deux. Il est ainsi possible de comprendre comment fonctionne la loi log normale par apport aux données initiales.

### 3.9. Extrapolation à l'exutoire

Puisque l'exutoire du bassin versant de la rivière Petite Nation se situe dans le parc national de Plaisance, il est important de comprendre comment celui-ci se comporte et quels sont les débits totaux qui se déversent dans la rivière des Outaouais.

Pour connaître le débit global du bassin versant de la rivière Petite Nation, il faut calculer le rapport entre l'aire au lieu de mesure, soit la station 040406 qui se situe à 1,6 kilomètre de la ville de Ripon et l'aire totale du bassin versant. L'aire du bassin versant à la station 040406 est de 1330 km<sup>2</sup> (CEHQ 2012). L'aire totale du bassin versant étant de 2250 km<sup>2</sup>.

$$A_t : \text{Aire totale} = 2250 \text{ km}^2$$

$$A_l : \text{Aire contrôlée par la station de mesure 040406} = 1330 \text{ km}^2$$

$$A_l/A_t = 1,691729$$

Le rapport entre les deux est donc de 1,691729. Il est donc possible en multipliant les données de débits mesurés à la station 040406 par ce rapport d'obtenir une extrapolation des débits qui correspond à la mesure des débits à l'exutoire.

Le résultat est une estimation des débits à l'exutoire du bassin versant (Voir tableau IX et Figure 3.15) puisque ce calcul ne prend pas en compte l'imperméabilisation du sol, les particularités du relief ou la présence de chutes telle que les chutes de Plaisance mentionnées dans le chapitre 1. Cette estimation permet de connaître l'apport

de la rivière Petite Nation dans la rivière des Outaouais, un des affluents les plus importants du fleuve St-Laurent.

Tableau IX : Modélisation des débits à l'exutoire à l'aide du logiciel HYFRAN (m3/sec)

Années	Maximums annuels	Années	Maximums annuels
1969	218,233041	1990	117,913511
1970	196,240564	1991	201,315751
1971	153,270647	1992	166,483051
1972	236,84206	1993	184,060115
1973	124,511254	1994	135,033809
1974	203,00748	1995	74,3007377
1975	196,240564	1996	208,590186
1976	206,390938	1997	200,469887
1977	138,383432	1998	207,575148
1978	172,556358	1999	135,845839
1979	144,473657	2000	109,302611
1980	128,90975	2001	108,439829
1981	156,146587	2002	176,447335
1982	154,116512	2003	120,586443
1983	181,015003	2004	112,195467



1984	179,323274	2005	154,962376
1985	194,548835	2006	128,233058
1986	114,36088	2007	130,09396
1987	126,879675	2005	154,962376
1988	135,845839	2006	128,233058
1989	89,9999828	2007	130,09396

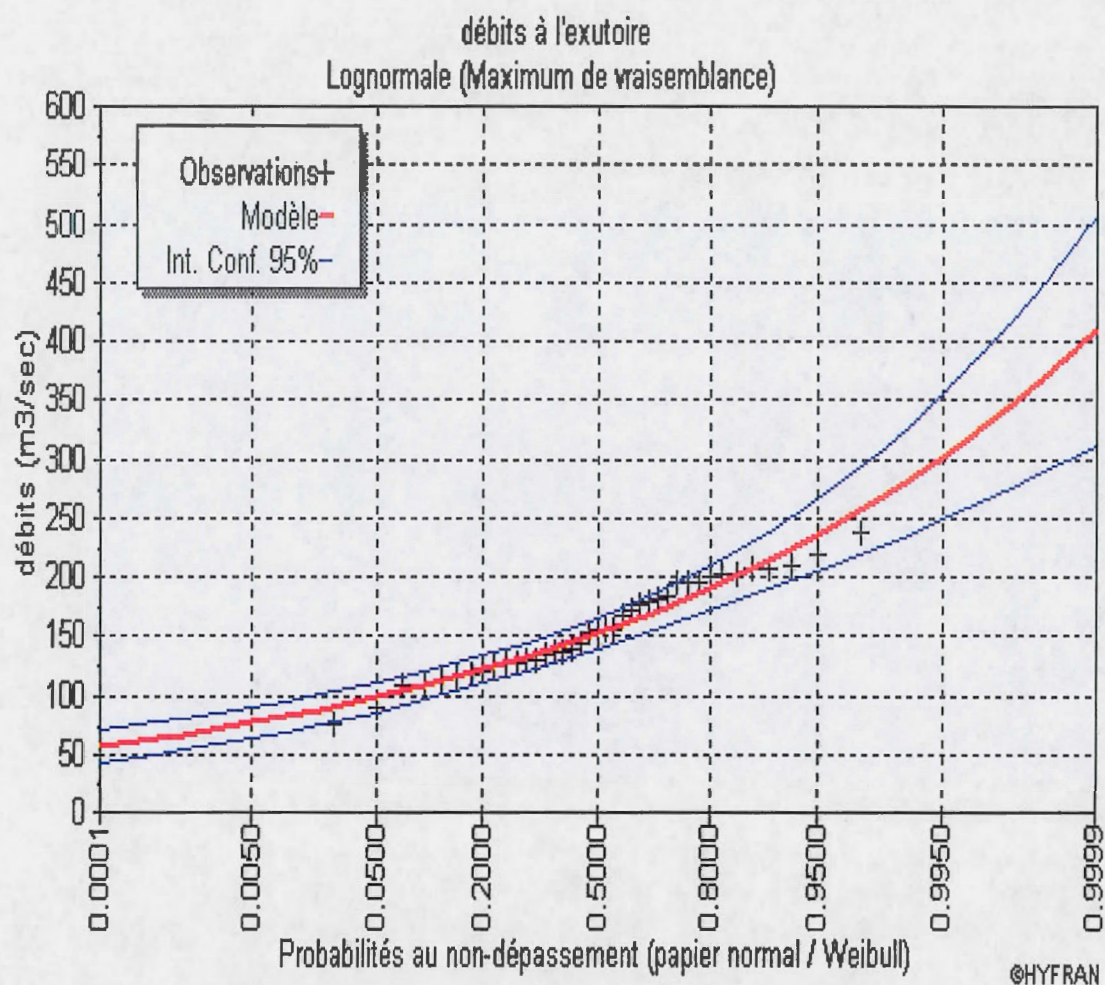


Figure 3.15 : Modélisation à l'exutoire avec le logiciel Hyfran (1969-2007)

Puisqu'on utilise pour la même modélisation que les débits de crues, l'utilisation de la même loi statistique utilisant les débits maximaux annuels enregistrés à la station 040406, permettra de modéliser statistiquement les débits à l'exutoire du bassin versant Petite Nation. Elle fonctionne de la même façon avec l'échantillon et permet une représentation graphique à l'aide du logiciel HYFRAN qui ressemble en tout point avec celle des débits maximaux annuels à la station 040406.

Cependant, la force des débits est beaucoup plus élevée pour les données à l'exutoire, ce qui est normal vu la plus grande superficie couverte par cette modélisation. On peut donc modéliser ainsi l'ensemble du bassin versant de la rivière Petite Nation, comprendre son écoulement, et surtout connaître les extrêmes pour l'ensemble de ce bassin. Ceci permettra de mieux prévenir les inondations et diminuer ainsi les risques de dommages aux constructions riveraines.

### 3.10. Analyse des débits d'étiage

Le bassin versant de la rivière Petite Nation connaît des périodes d'étiages annuellement dont l'intensité pourrait être qualifiée de modérée à moyenne. Certains lacs sont aux prises avec un problème de cyanobactérie lors de l'étiage estival. Pour le moment, la prolifération des cyanobactéries est considérée comme importante, mais sous contrôle (RPNS 2011). Elle est toutefois limitée à quelques lacs et ne représente pas de danger pour l'hydroécologie de l'ensemble du bassin versant de la rivière Petite Nation.

Lors de l'étiage estival, le niveau d'eau bas peut rendre la navigation entre les lacs et dans la rivière Petite Nation plus périlleuse. On ne recense pas de cas d'assèchement

de puits de surface ou de puits artésien situés en bordure de cours d'eau dans le bassin versant.

Au niveau des impacts de ces périodes d'étiage sur la faune et la flore ainsi que sur les activités humaines, il n'existe aucun renseignement viable scientifiquement. Cependant, il est courant de voir le niveau d'eau de la rivière Petite Nation ainsi que de ses affluents diminuer sensiblement durant les mois d'été. L'effet de cette diminution est limité à la biodiversité dans ces cours d'eau et n'a que peu d'impact pour l'être humain. On ne constate pas, par exemple, une baisse des niveaux d'eau dans les puits de surface, une diminution des zones navigables ou une concentration d'algues dans certains endroits où se retrouvent des concentrations de cyanobactéries.

Bien que présentes, les périodes d'étiage ne mettent pas en danger la vie des riverains ainsi que de la population du bassin versant de la rivière Petite Nation. Cependant, les impacts d'un étiage quel qu'il soit ne doivent pas être pris à la légère; c'est pourquoi le RPNS ainsi que les différents ministères impliqués dans la gestion de l'eau au Québec s'intéressent au maintien et à l'entretien des 42 barrages dans le bassin versant (RPNS 2011).

Le CEHQ a calculé l'étiage pour le bassin de la rivière Petite Nation. Les résultats obtenus résultent d'une comptabilisation des données pour la période 1970-2008 et ont été obtenus conformément à la méthodologie du CEHQ (CEHQ 2011). Bien que comportant une année de plus que le nombre utilisé pour le calcul des débits de crues, l'ajout de l'années 2008 dans l'analyse des débits d'étiages ne révèle pas de débit d'étiage significatif dans cette étude.



Trois valeurs sont soit les périodes de retour (2,7), (10,7) et de (5, 30). Ces périodes de retour sont calculées en années par nombre de jours consécutifs. Le premier chiffre entre parenthèses représente la période de retour en année, tandis que le deuxième chiffre représente le nombre de jours consécutifs.

Le débit est calculé en litre par seconde par kilomètres carrés. Pour chacune de ces trois valeurs, les débits spécifiques, c'est-à-dire le débit total divisé par la superficie du bassin versant à l'endroit de la station hydrométrique, ont été cartographiés. Les unités sont alors exprimées en  $\text{L/s/km}^2$ . Pour la récurrence de  $(Q_{2,7})$ , le débit obtenu est de  $3,48 \text{ L/s/km}^2$ , pour la récurrence de  $(Q_{10,7})$ , on obtient le débit de  $1,76 \text{ L/s/KM}^2$ . Finalement, pour l'étiage de  $(Q_{5,30})$ , on obtient le débit de  $2,47 \text{ L/s/km}^2$ .

Le tableau X présente les débits d'étiage selon deux normes de présentation. La première est exprimée en  $\text{L/s/km}^2$ , par la suite cette unité de mesure sera transformée en  $\text{m}^3/\text{sec}$ . Pour ce faire, le débit en  $\text{L/s/km}^2$  est multiplié par l'aire du bassin versant à l'endroit où est positionnée la station de mesure 040406 soit  $1327 \text{ km}^2$ . Par la suite le résultat sera multiplié par 1000, ce qui permettra de convertir les litres en  $\text{m}^3$ . On obtiendra donc des  $\text{m}^3/\text{sec}$ . Le but de ce changement de mesure est d'utiliser la même mesure pour l'ensemble des débits enregistrés et analysés dans l'analyse des ressources en eau du bassin versant Petite Nation.

Tableau X : Étiage du bassin versant Petite Nation

Bassin versant	Superficie (km <sup>2</sup> )	Étiages annuels			Étiages estivaux			Période
		Q <sub>2,7</sub>	Q <sub>10,7</sub>	Q <sub>5,30</sub>	Q <sub>2,7</sub>	Q <sub>10,7</sub>	Q <sub>5,30</sub>	
Petite Nation L/s/km <sup>2</sup>	1327 km <sup>2</sup>	4,2	2,4	3,2	4,6	2,3	3,2	1970-2008
Débits en m <sup>3</sup> /sec		5,6	3,2	4,2	6,1	3,1	4,2	1970-2008

Le tableau X, tel que présenté, nous permet de comprendre l'intensité des différents types d'étiage (étiages d'été et d'hiver), présents dans le bassin versant de la rivière Petite Nation selon les normes du CEHQ. Bien que ne représentant pas complètement la période temporelle à l'étude, les données contenues dans ce tableau dressent un portrait très fiable de la puissance des différentes périodes d'étiage pour les années 1969-2007. Les données utilisées par le CEHQ sont les moyennes des débits d'étiage correspondant aux récurrences et à la durée des épisodes selon les chartes élaborées par le CEHQ pour son analyse des étiages des cours d'eau du Québec.

Voyant les chiffres émis ainsi que modéliser par le CEHQ selon les données du MDDEFP (CEHQ 2011), c'est avec un débit sous les 5 m<sup>3</sup>/sec que l'on parle d'un débit d'étiage. Un document produit par le MDDEFP relativement au portrait régional de l'eau en Outaouais fait mention d'un débit minimum de 2,29 m<sup>3</sup>/sec entre les années 1968 et 1998 (CEHQ 2011). Si l'on regarde les données du CEHQ, il est effectivement exact que le niveau historique entre les années 1968 et 1998 est de 2,29 m<sup>3</sup>/sec, débit calculé en

septembre 2005. Cependant pour la période à l'étude, on remarque que le plus important débit minimum est un débit de  $1,59 \text{ m}^3/\text{sec}$  calculé en octobre 2002 ( voir figure 3.16).

Puisque l'étiage d'automne est important dans le bassin versant de la rivière Petite Nation, c'est durant les mois de septembre, octobre et novembre que les niveaux d'eau les plus bas de l'année sont enregistrés, soit 28 fois en 37 années c'est-à-dire un pourcentage de 75,68 % du temps. Les autres débits d'étiage ont lieu à d'autres moments de l'année. Ils résultent souvent d'un très faible couvert neigeux durant l'hiver ou encore d'épisodes de sécheresse durant les mois d'été. Bien que rares, ils peuvent grandement influencer l'ensemble de l'écoulement dans le bassin versant.

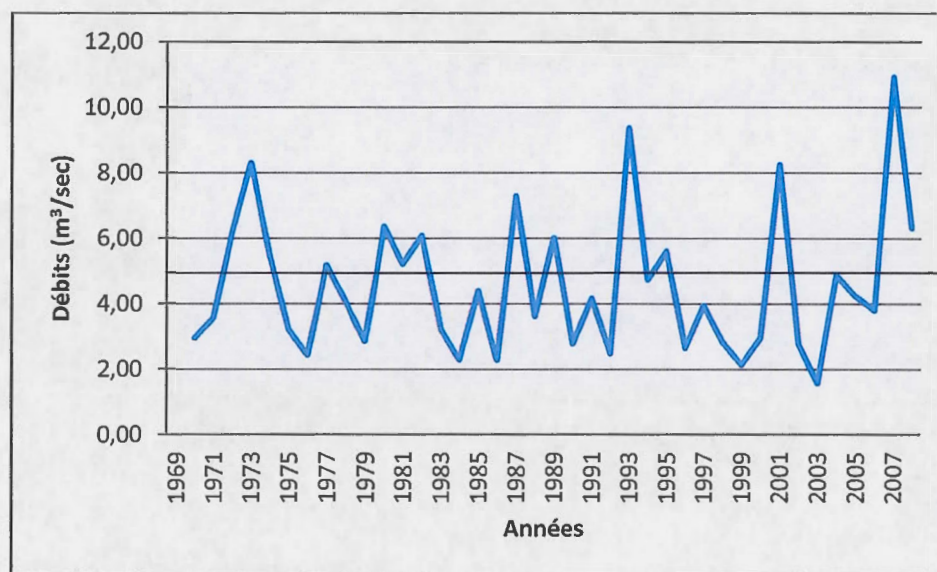


Figure 3.16 : Minimum annuel pour la période 1969-2007

Sachant que la ligne noire représente un débits de  $5\text{m}^3/\text{sec}$ , on remarque dans la figure 3.16 ainsi que 3.17, que l'importance des étiages est cyclique. Les périodes de grandes intensités sont souvent suivies de période de moindres intensités. Cette succession de périodes est principalement le résultat des cycles naturels des précipitations qui eux aussi varient d'année en année (CEHQ 2012).

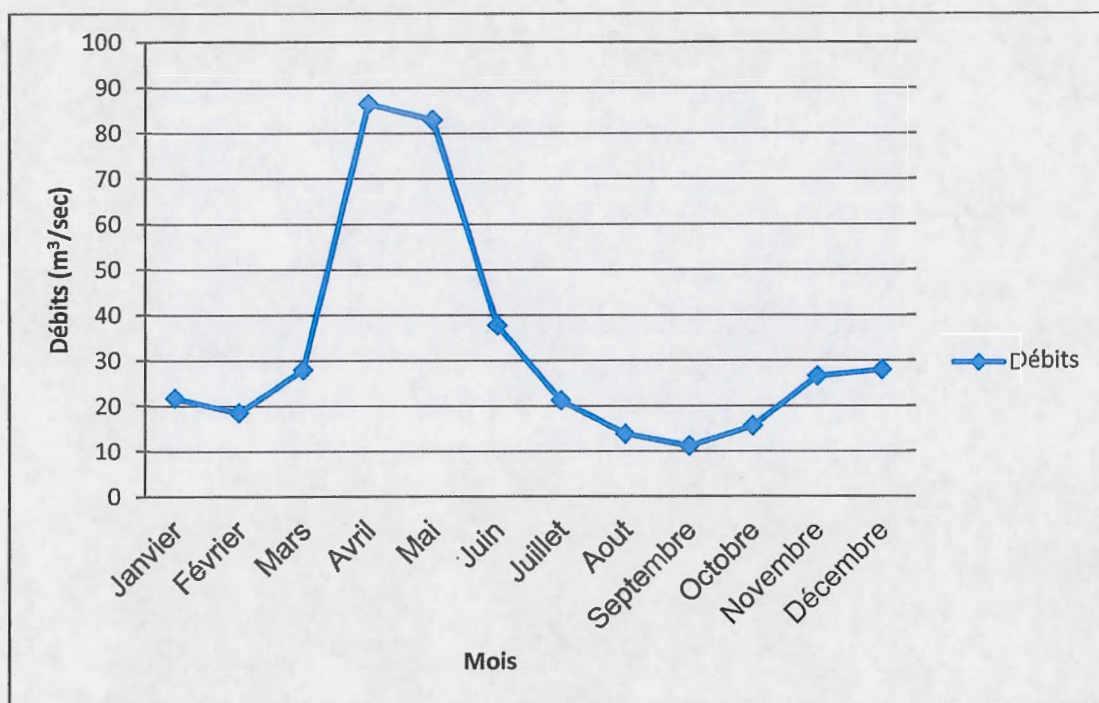


Figure 3.17 : Moyenne des minimums mensuels pour la période 1969-2007

Tel que mentionné précédemment, les lacs se retrouvent essentiellement dans la partie amont du bassin versant et retiennent donc un volume important de la ressource en eau. La fréquence et l'importance des périodes d'étiage sont implicitement reliées au niveau de l'eau dans les lacs.



### 3.11. Fréquence des débits d'étiages

Pour bien comprendre l'importance et la fréquence des débits d'étiage, plusieurs tableaux ont été conçus pour en illustrer l'intensité. Les figures 3.16 ainsi que 3.17, ne présentent pas le temps que dure la période d'étiage, seul le débit minimum annuel est utilisé. Il ne s'agit pas de calculer la longueur des étiages, mais bien de mesurer le maximum de l'intensité de ceux-ci, représenté dans les figures suivantes avec les débits en  $\text{m}^3/\text{sec}$  les moins importants.

On remarque que, dans l'ensemble, la fréquence des débits d'étiage les plus importants reprend la plus grande portion de la figure 3.17. Il est ainsi possible de constater que dans le bassin versant Petite Nation, les épisodes d'étiage sont notables tant par leur ampleur que par la fréquence au cours de laquelle elles ont lieu. En divisant les fréquences des classes d'intensité des débits d'étiages par décennies, il sera par ailleurs possible de mieux voir l'évolution de l'écoulement de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation.

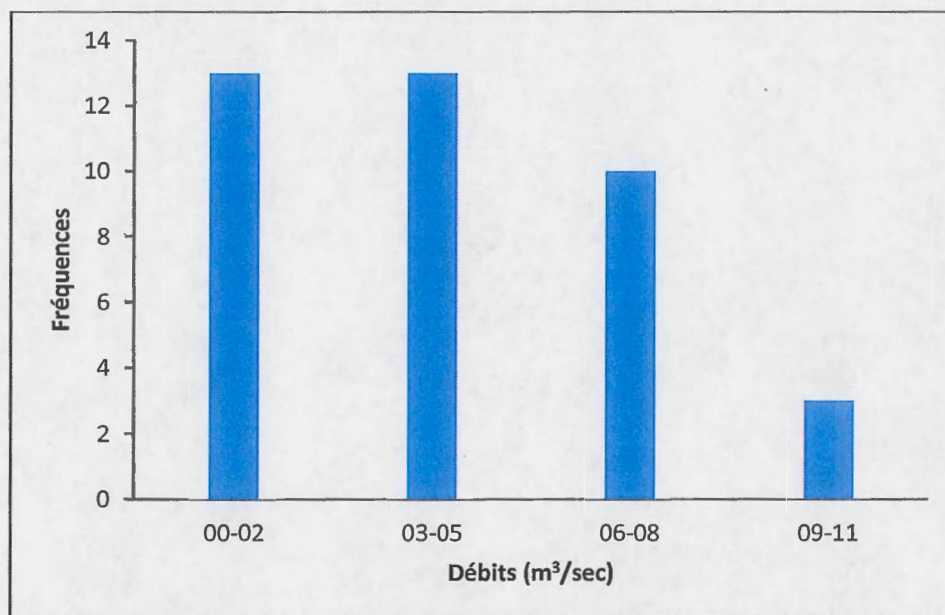


Figure 3.18 : Fréquences des débits d'étiages à la station 040406 (1969-2007)

En ce qui a trait à la décennie 1970, on constate aisément que, lors de la fréquence la plus importante, l'intensité de débit se situait entre 3 et 5 m³/sec. On remarque aussi que les minimums annuels enregistrés durant cette période sont tous sous les 9 m³/sec. Il s'agit donc d'une décennie pendant laquelle les débits ayant la moins grande intensité sont les plus fréquents. Selon la CEHQ on commence à parler d'étiage important quand les débits sont sous les 6 m³/sec, soit le débit pour un étiage estival ayant une récurrence de 2 ans.

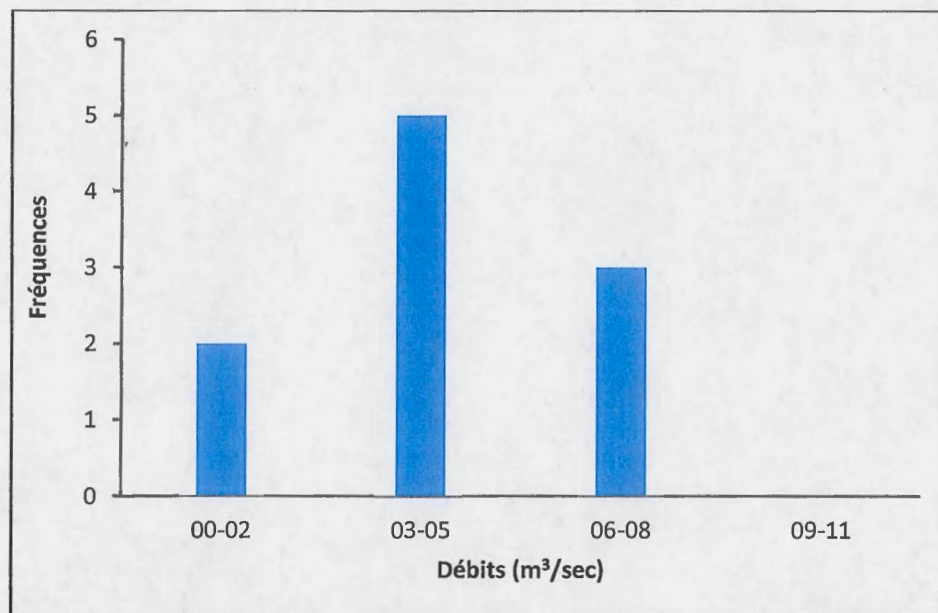


Figure3.18 : Fréquences des débits d'étiages pour la décennie 1970 à la station 040406

Quant on étudie la décennie 1980, on remarque presque la même fréquence que durant la décennie 70. Les fréquences étant donc sensiblement les mêmes pour les deux décennies, ceci nous permet de conclure qu'au niveau des étiages il existe une stationnarité d'intensité. Il faut cependant comprendre de la figure ci-dessous que l'ensemble des débits se situe sous les  $9 \text{ m}^3/\text{sec}$ .

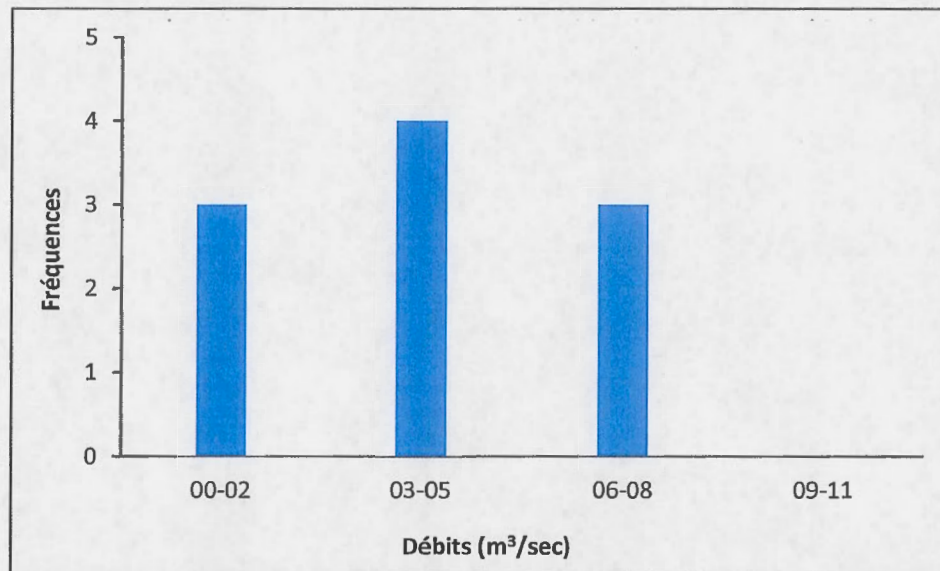


Figure 3.19 : Fréquences des étiages pour la décennie 1980 pour la station 040406

La décennie 1990 présente les débits parmi les plus faibles jamais enregistrés. Les débits d'étiage les plus importants sont concentrés dans cette décennie. Une telle situation peut s'expliquer par une baisse des précipitations dans le bassin versant et par un changement dans les différentes installations dans le bassin versant. Sachant qu'aucune nouvelle construction anthropique construite dans les années 1990 n'a changé l'écoulement de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation (CEHQ 2012), seule la théorie des faibles précipitations ou encore un très faible couvert neigeux semble plausible pour expliquer cette forte fréquence de débits d'étiages significatifs.



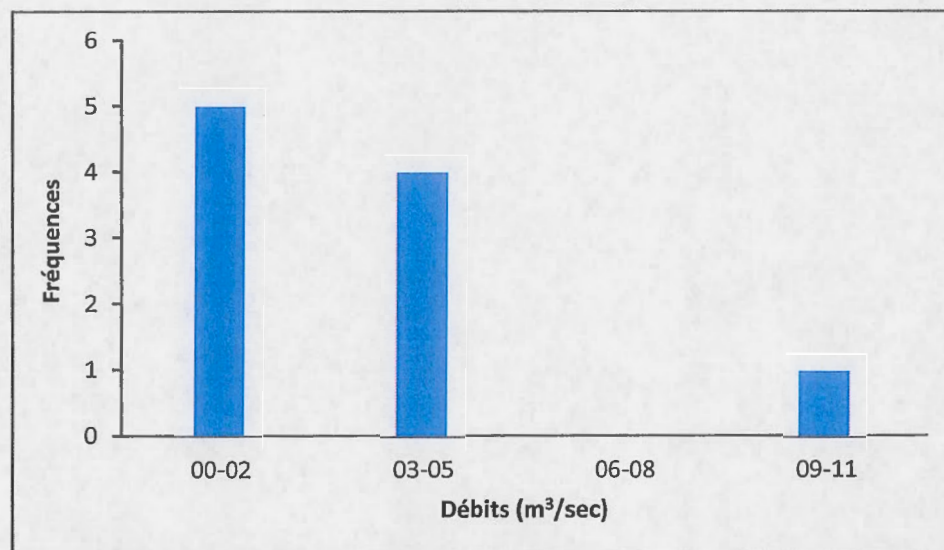


Figure 3.20 : Fréquences des étiages pour la décennie 1990 pour la station 040406

Quant aux années 2000 à 2007, on remarquera une plus grande amplitude dans les débits. On notera aussi une tendance vers des débits d'étiage de plus faibles intensités. C'est durant ces années que le débit d'étiage le plus important fut enregistré, soit un débit de  $1,59 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Malgré ce record, ces huit années ne sont pas les plus représentatives au niveau de la distribution des débits d'étiages dans le bassin versant Petite Nation.

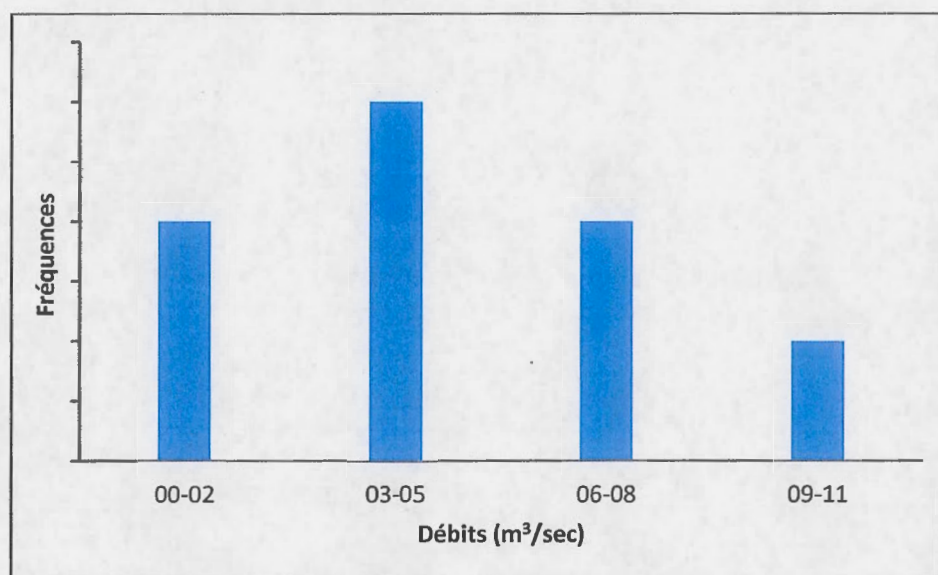


Figure3.21 : Fréquences des étiages pour les années 2000 à 2007 pour la station 040406

C'est durant le mois d'octobre 2002 que le plus petit débit fût enregistré à la station 040406. En effet, le 15 octobre 2002 on a enregistré un débit de  $1,59 \text{ m}^3/\text{sec}$ . Ce débit d'étiage extrême est certainement dû à des températures au-dessus des normales de saison et à un apport en précipitations plus faible que la normale pour les mois de septembre et d'octobre.

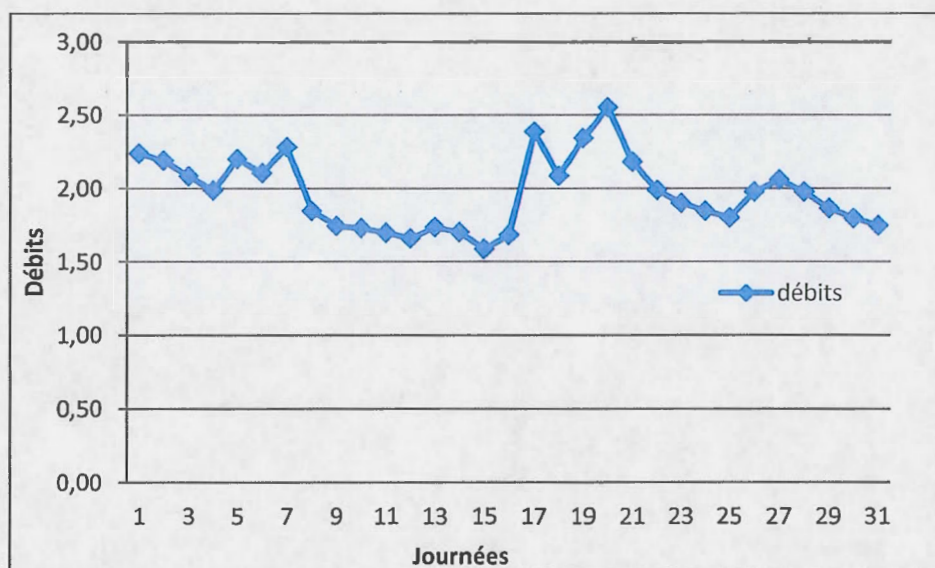


Figure 3.22 : Débits minimums par jour pour le mois d'octobre 2002 enregistrés à la station 040406

En analysant plus à fond la figure 3.22 ci-dessus, on remarque une baisse progressive des débits entre le 1<sup>er</sup> et le 3 octobre. Par après, on assiste à une remontée le 4 octobre, à la suite d'une averse de petite envergure (ENVIRONNEMENT CANADA 2012). Puis on assiste à une diminution soutenue des débits due aux températures plus chaudes qu'à l'habitude entre le 8 et le 16 octobre 2002. Par la suite, grâce à de légères précipitations, le débit à la station 040406 a augmenté en restant toutefois sous les normales saisonnières.

Le mois d'octobre 2002 connaît les débits d'étiage les plus importants. Ils oscillent entre 1,59 m³/sec et 2,55 m³/sec soit nettement sous le seuil d'étiage habituel pour ce



mois. Malgré l'importance des laminages exercés par les différents plans d'eaux sur le bassin versant Petite Nation, la ressource en eaux s'écoulant à la station 040406 oscilla dangereusement frôlant un niveau quasiment nul. L'intensité de cet étiage a été considérable, mais on ne rapporte pas de conséquences désastreuses lors de cet épisode. De plus, la récurrence d'un épisode comme celui-ci se situe dans la période 0-100 ans, c'est-à-dire une période de retour relativement rare, surtout pour un bassin versant comprenant plusieurs plans d'eaux de dimensions imposantes.

### 3.12. Modélisation des débits d'étiage avec Hyfran

Les débits d'étiage furent soumis aux mêmes lois statistiques dans le logiciel Hyfran que les données maximales enregistrées dans le bassin versant, soit les lois; Log Normale, Gumbel ainsi que Log Person III. Les mêmes tests d'hypothèses furent aussi utilisés avec ces données à savoir les tests de stationnarité, d'homogénéité et d'indépendance. Le but était de calculer les mêmes paramètres et de la même façon que pour les données de maximums annuels et ainsi d'avoir la même méthodologie pour les deux types de débits. Cette méthode visait à assurer une homogénéité dans les réponses ainsi que dans l'explication des résultats.



Tableau XI : Choix du modèle statistique

Choix du Modèle	Critères			
Modèle	NB paramètres	XT	BIC	AIC
Lognormale	2	0,763	165,602	162,275
Gumbel	2	0,089	167,134	163,807
Log-Pearson type III	3	0,914	168,994	164,003

Après avoir soumis les données d'étiage de la station 040406 à la même formule et à la même loi statistique que les données maximales, on arrive à la conclusion que la loi log normal doit être préférée pour faire l'extrapolation des débits d'étiage. Celle-ci obtient le score le plus petit au niveau des critères BIC ainsi que AIC et donc représente la loi statistique la plus précise pour notre échantillon (Béliveau 2006). Il est donc possible de faire l'extrapolation des données d'étiage enregistrées à la station 040406 avec la loi log normale utilisant toujours le logiciel de modélisation HYFRAN. L'extrapolation se fera aussi sur une probabilité de non-dépassement se situant entre le 0,001 — 1000 ans comme ce fut le cas pour les données de débits maximums.

Sachant que

T= Période de retour

q= Probabilité de non — dépassement

XT= Débit en m<sup>3</sup>/sec

Tableau XII : Extrapolation des données d'étiage avec la loi log normale (1969-2007)

T	q	XT	T	q	XT	T	q	XT
1000	0,001	1,015	2	0,5	4,115	1,001	0,999	16,69
200	0,005	1,281	1,5	0,6667	5,001	1,0005	0,9995	18,28
100	0,01	1,434	1,25	0,8	6,025	1,0001	0,9999	22,19
50	0,02	1,623	1,1111	0,9	7,356			
20	0,05	1,953	1,0526	0,95	8,672			
10	0,1	2,302	1,0204	0,98	10,44			

Tableau XIII : Caractéristiques des paramètres de la loi log normale et de l'échantillon des données de débits &lt; la station 040406 (1969-2007)

	Caractéristiques de la loi	Caractéristiques de l'échantillon
Minimum (m <sup>3</sup> /sec)	0	1,59
Maximum (m <sup>3</sup> /sec)	Aucun	10,93
Moyenne (m <sup>3</sup> /sec)	4,56	4,554
Écart-type	2,177	2,156
Médiane (m <sup>3</sup> /sec)	4,115	4,08
Coefficient de variation (Cv)	0,4774	0,4735
Coefficient d'asymétrie (Cs)	1,541	1,094
Coefficient d'aplatissement (Ck)	7,499	3,494

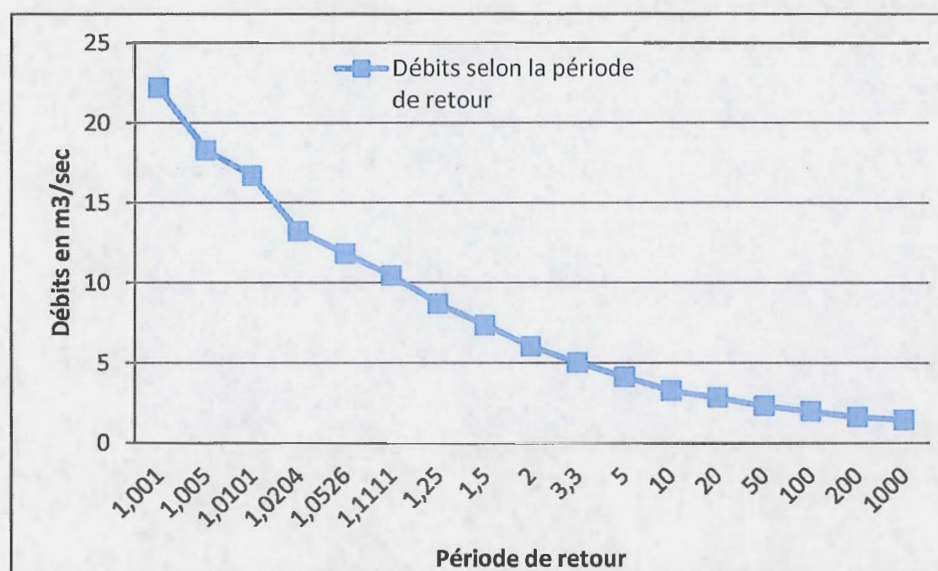


Figure 3.23 : Modélisation graphique des débits d'étiages 1,001-1000 ans avec HYFRAN des débits de la station 040406 (1969-2007)

Les extrêmes calculés en fonction de la loi log normal démontrent bien l'importance des périodes d'étiages possibles et modélisée dans le bassin versant de la rivière Petite Nation (VOIR FIGURE 3.23). Il est cependant quasiment impossible de calculer la durée de ces périodes de faibles débits modélisées à l'aide du logiciel HYFRAN, puisqu'elle dépend d'une multitude de facteurs telles la température ambiante et l'utilisation de la ressource en eau qui ne constituent pas en soi des données climatiques et hydrologiques.

## CHAPITRE IV

### Conclusion et recommandations

#### 4.1. Récapitulation des analyses effectuées

Cette recherche avait pour but premier de mieux comprendre la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation en plus de contribuer, avec l'OBV RPNS, à la mise en place du PDE pour ce bassin versant. Il était aussi souhaité de mieux comprendre les spécificités de la ressource en eau dans ce bassin versant afin de pouvoir modéliser les débits et en prédire les débits extrêmes, ainsi que l'évolution future des variations des ressources en eau dans le bassin versant Petite Nation.

##### *4.1.1. Portrait du Bassin versant*

Pour ce faire, il fallut, dans un premier temps, faire un portrait exhaustif du bassin versant Petite Nation. Une analyse des différentes sources d'informations disponibles permit de dresser les caractéristiques physiographiques du bassin versant Petite Nation. Le réseau hydrographique, la pente et le relief, la géologie pour ne nommer que ces principales singularités permirent de bien comprendre comment est constitué ce bassin versant, comment il fonctionne et quelles en sont ses particularités. Au niveau des caractéristiques humaines du bassin versant Petite Nation, un portrait global des différents aspects anthropiques présents dans ce bassin versant fut effectué dans l'optique d'en dresser un portrait complet.



Une fois le portrait du bassin versant Petite Nation bien esquissé, il fallut choisir et par la suite expliciter les outils employés dans l'analyse de la ressource en eau de ce bassin versant. L'emploi des débits enregistrés à la seule station de mesure des débits disponibles dans le bassin versant Petite Nation fut retenu. Afin de dresser un portrait historique des débits, il fût décidé d'utiliser les débits se situant entre 1969 et 2007, débits du CEHQ. Les données climatiques, furent obtenues du ministère de l'Environnement du Canada. Le but ultime demeurant toujours de dresser le portrait le plus réaliste de l'évolution des débits dans le bassin versant Petite Nation.

#### *4.1.3 Extrapolation des données de débits*

Dans un deuxième temps, une analyse complète des débits enregistrés durant la période à l'étude fut complétée. Celle-ci permet de quantifier les débits extrêmes présents dans le bassin versant Petite Nation. Tant les débits de crues que les débits d'étiages, furent modélisés pour en extrapoler les extrêmes. Cette modélisation fût complétée avec le logiciel HYFRAN, qui permet d'extrapoler les données de débits selon diverses lois statistiques. Dans les deux cas, les mêmes lois (LN, EV et LP3) furent utilisées puisque ce sont celles qui sont les plus souvent recensées dans la littérature scientifique. De ces trois lois, une seule fût retenue après une analyse statistique complète de chacune d'elles afin d'établir la loi statistique la plus précise pour l'exercice d'extrapolation de l'échantillon à l'étude.

Tant pour les débits de crues que pour les débits d'étiages, la loi log normale fut utilisée, car celle-ci s'avère la plus adéquate une fois les tests de; stationnarité, d'homogénéité, et d'indépendance effectués, en plus de fournir les meilleurs résultats

avec les critères AIC ainsi que les critères BIC, deux autres indicateurs statistiques. C'est donc en adoptant cette loi statistique que l'extrapolation des données de crues ainsi que celles d'étiages fut complétée. Il en ressort la modélisation statistique des débits ayant une période de retour allant jusqu'à 1000 ans. Par cette modélisation statistique des débits extrêmes dans le bassin versant de la Petite Nation, il est maintenant possible de prédire les extrêmes possibles et d'ainsi mieux comprendre l'évolution probable des débits extrêmes dans ce bassin.

#### *4.1.4. Analyse des débits extrêmes par décennie*

En plus de cette modélisation statistique, une analyse des débits extrêmes par décennie fût présentée. Tant pour les débits de crue que pour les débits d'étiages, chaque décennie est revue et analysée pour faire ressortir l'évolution de ces deux types d'extrêmes durant cette période. Pour dresser un portrait complet des débits extrêmes dans le bassin versant Petite Nation, une analyse intégrale de ces deux événements fût réalisée.

Comprenant maintenant les spécificités des débits extrêmes dans le bassin versant Petite Nation il est dès lors possible de composer une liste de constatations ainsi que de recommandations dans le but d'illustrer les lacunes observées lors de la création de cette recherche, en plus de donner des pistes de solutions pour combler ces mêmes lacunes.

## 4.2. Limites et recommandations

Une fois la modélisation statistique complétée, il est maintenant possible de dresser une liste de constatations ainsi que de recommandations qui pourront servir de base aux différents acteurs impliqués dans la gestion de la ressource en eau pour la région à l'étude. Sans tomber dans la critique, ce chapitre abordera certaines lacunes observées tant au niveau de la gestion par bassin versant que du nombre de données accessibles dans l'analyse du bassin versant Petite Nation et de leurs disponibilités.

### *4.2.1. Limites territoriales*

La gestion par bassin versant, telle qu'adoptée par le gouvernement québécois, comporte plusieurs limites, et ce, à plusieurs niveaux. Tant au niveau politique que légal, cette gestion doit être conscrée en tenant compte de plusieurs particularités qui la rendent plus difficiles et parfois même extrêmement délicate.

Un des aspects les plus importants au niveau des limites dans la gestion par bassin versant pour le Québec est sans aucun doute, la délimitation des bassins. Tous les bassins versants s'écoulant dans le fleuve St-Laurent sont administrés par des OBV. Leur nombre s'élève à quarante. Cependant, les bassins versants présents dans les Îles-de-la-Madeleine ainsi que sur l'île d'Anticosti ne sont pas administrés par un OBV. C'est aussi le cas pour les bassins versants se situant dans le nord du Québec, regroupant les régions de la Baie-James et du Nunavik, qui se déversent dans la Baie-James, la Baie d'Hudson, le détroit d'Hudson ou encore dans la baie d'Ungava. Ces bassins versants sont pour la plupart administrés par Hydro Québec (MDDEFP 2012) en raison de leur potentiel

hydroélectrique. La gestion des bassins versants par les OBV se concentre donc le long du Saint-Laurent.

Les limites de la gestion par bassin versant proviennent essentiellement du fonctionnement de la gestion telle que le gouvernement l'autorise. Puisque le bassin versant devient le cadre de référence au niveau territorial pour la gestion de l'eau au Québec, il est aussi soumis au découpage des MRC ainsi qu'à plusieurs autres découpages territoriaux ou locaux. Plusieurs lois régissent les différents aspects de la gestion par bassin versant. La Loi sur la qualité de l'environnement, la Loi sur les forêts, et surtout la Loi sur les minières sont parmi les plus importantes et qui ont préséance dans la gestion légale d'un bassin versant. De plus, le PDE d'un OBV est issu d'un consensus volontaire des différents acteurs impliqués dans cette gestion. N'ayant pas de portée véritablement légale et utilisant les tables de concertation pour administrer les bassins versants, les OBV dépendent de l'implication volontaire et bénévole des acteurs, du bon déroulement de ces tables de concertation ainsi que des concordances entre l'OBV, les acteurs en cause et la population résidant sur le territoire.

On note ici l'absence de pouvoir d'action directe des OBV sur le territoire qu'elles gèrent. L'OBV a l'obligation d'administrer son bassin versant selon les plans d'urbanisme des municipalités ainsi que des MRC qui s'y retrouvent, sachant que chacune d'entre elles possède son propre plan d'aménagement. Cette situation a pour effet de compliquer grandement l'obtention d'une concertation totale et unanime de tous ces acteurs et diminue grandement la force d'intervention des OBV compliquant du même coup la gestion de l'eau au Québec.



#### 4.2.2. Limites et contraintes financières

La principale source de financement des OBV provient du gouvernement du Québec. Le MDDEFP, en 2009, finançait les 40 OBV du Québec à hauteur de 5 220 000 \$ (MDDEFP 2012). Le reste du financement provient essentiellement des autres paliers de gouvernement ainsi que des municipalités et des MRC. Le ROBVQ donne à chacune des OBV une liste de financement possible selon les besoins de l'OBV. Le financement des OBV est donc toujours à refaire et ne permet pas d'assurer un fonds de roulement pour des projets de grande envergure ou encore pour des investissements sur de l'équipement scientifique.

Puisque les OBV dépendent entièrement de subventions et de projets financés par le secteur public, celles-ci deviennent totalement dépendantes du bon vouloir du gouvernement provincial ainsi que des divers autres paliers administratifs. La position gouvernementale n'applique pas, entre autre, le principe de pollueurs/payeurs comme c'est le cas en France, en plus de minimiser les redevances suite à l'utilisation de la ressource à des fins commerciales. Ce choix de société prive le gouvernement de fonds importants qui pourraient être réinvestis dans les OBV, comme c'est le cas en France.

Le financement est à l'évidence le problème le plus important auquel font face les OBV. Pour l'OBV RPNS, le financement pour l'année 2012 est de 262 563 \$. De ce montant, 205 061 \$ provient de subventions gouvernementales. L'ensemble de cette somme a été utilisé essentiellement pour payer les salaires et les avantages sociaux, soit une dépense de 185 536 \$ (RPNS 2013). Présentement, le financement représente le plus gros problème des OBV puisque ceux-ci doivent compétitionner pour le financement disponible en plus de devoir consacrer annuellement beaucoup de temps et d'énergie à la recherche de fonds. Il en résulte une sorte d'épée de Damoclès sur la tête des directeurs

d'OBV qui doivent, pour assurer leur survie, trouver des sources de financement et pallier à une précarité des investissements dans les infrastructures présentes dans le bassin versant.

La connaissance défailante de certains aspects de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation rend plus difficile l'analyse en profondeur de la ressource en eau. Une seule station de mesure des débits pouvant être utilisée pour l'étude complète des débits, on ne peut avoir une vue d'ensemble du bassin versant. La partie amont du bassin versant Petite Nation est laissée pour compte malgré le fait que c'est dans cette région que sont situés les plans d'eau les plus importants. De plus, il n'existe que très peu d'études scientifiques portant sur l'environnement ou la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation. Lors des recherches documentaires, seules quelques études furent retrouvées. Il en résulte une lacune considérable au chapitre des diverses informations scientifiques qui pourraient, dans le futur, être nécessaires à l'OBV RPNS si celle-ci en venait à s'intéresser plus en profondeur aux spécificités environnementales dans le bassin versant Petite Nation.

Sachant que l'OBV RPNS n'existe que depuis quelques années et que celui-ci prend sous son contrôle trois bassins versants de dimensions considérables, il est normal de constater qu'elle ait pour le moment, concentré ses efforts dans la mise en place du PDE pour ces trois bassins versants.

#### *4.2.3. Limites de la modélisation avec HYFRAN*

Lors de la modélisation avec le logiciel HYFRAN, certains obstacles furent rencontrés. Dans un premier temps, au niveau de la modélisation des débits de crues, l'habillage personnalisé des graphiques représentant la modélisation avec les trois lois devenait irréalisable. Il est infaisable de changer les couleurs ou encore la disposition des éléments visuels présents dans les graphiques modélisés par ce logiciel. Il en résulte une moins bonne illustration des lois statistiques et, partant, une moins bonne visibilité de l'information.

De plus, lors de la modélisation avec ce même logiciel, il nous fut impossible de modéliser graphiquement la courbe des débits d'étiages. Le logiciel modélise statistiquement les données en fonction des lois choisies, mais il n'est pas possible d'avoir la représentation graphique adéquate. Il en résulte un manquement majeur au niveau de la présentation graphique des résultats des extrapolations sous les diverses lois statistiques

D'autres logiciels de modélisations statistiques pourraient être utilisés, soit les logiciels HYDROLAB, R ainsi que HEC pour ne nommer que ceux-ci. Ces logiciels modélisent aussi les débits; il serait donc possible de faire la modélisation de cette recherche avec ces logiciels. Le logiciel HYFRAN étant le plus utilisé dans l'analyse statistique ainsi que la modélisation statistique des bassins versants du Québec. Celui-ci malgré quelques lacunes que l'on peut qualifier de graphiques, représente le meilleur outil pour modéliser les débits extrêmes des cours d'eau du Québec. Étant issu du savoir-faire québécois, ce logiciel intègre les lois statistiques les plus aptes à être utilisé au Québec.

### 4.3. Avenues d'études

Cette recherche ne porte que sur une infime partie des possibilités de recherches portant sur le bassin versant Petite Nation. Parmi les recherches possibles, certaines devraient être complétées dans les années à venir pour permettre une compréhension totale de la ressource en eau dans ce bassin versant et ainsi s'assurer d'une évolution positive de cette ressource. Des recherches futures portant sur l'impact des pluies acides dans ce bassin versant seraient utiles en raison des conséquences importantes qu'ont ces pluies sur la ressource en eau.

Dans la même lignée, il serait aussi important de s'intéresser aux impacts des changements climatiques dans le bassin versant Petite Nation, car ils peuvent aussi modifier la ressource en eau. Toute recherche se penchant sur les différents types de cartographie, d'analyses spatiales ainsi que de télédétection ne pourra qu'augmenter les connaissances sur bassin versant Petite Nation et ainsi se combiner à cette recherche pour créer une base de données des plus précises.

Pour y arriver, il faudra cependant s'attarder à améliorer certains aspects pouvant causer des problèmes dans la mise en place de nouvelles recherches portant sur le bassin versant Petite Nation.



## 4.4. Recommandations

### *4.4.1. Augmentation du nombre de stations de mesure*

Il serait impératif d'augmenter le nombre de stations de mesure des débits dans le bassin versant Petite Nation. Ce bassin versant compte trois sous bassins. Il serait donc important que chaque sous-bassin possède sa propre station de mesure. Il en résulterait une vision d'ensemble des débits en temps réel de ce bassin versant, et permettrait de quantifier l'importance de chaque sous-bassin dans l'écoulement de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation. Sachant que chacun de ces sous-bassins comporte plusieurs éléments distinctifs (élévation, développement humain, etc.), il serait possible de comprendre les spécificités de chacun et ainsi d'accroître la connaissance du bassin versant.

De plus, l'OBV RPNS pourrait utiliser ces données recueillies ici pour cibler ses interventions dans le sous-bassin le plus problématique au niveau des écarts de débits. Cependant, l'installation de ces stations impliquerait des investissements de plusieurs dizaines de milliers de dollars. L'investissement dans la construction de ces stations de mesures n'est pas une priorité pour les différents paliers de gouvernement, puisqu'aucune station ne fut construite dans le bassin versant Petite Nation depuis les années 1970 et que trois stations furent fermées depuis cette période.

Il faudrait aussi mesurer les niveaux des lacs les plus importants puisqu'aucun des grands lacs présents dans le bassin versant Petite Nation ne fait présentement l'objet de telles mesures même s'ils régularisent les débits tout au long de l'année, en plus d'emmagasiner d'immenses quantités d'eau. Les lacs Gagnon, Preston et Simon seraient

les plus aptes à recevoir ses stations de mesures des niveaux des lacs. Encore une fois ces données pourront être utilisées par l'OBV RPNS dans la gestion de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation.

#### *4.4.2. Compréhension des extrêmes*

Dans l'optique d'une meilleure gestion de la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation, il est impératif de mieux comprendre les débits extrêmes de la ressource en eau. Sachant maintenant que l'intensité de ceux-ci peut être modélisée pour tenter d'en prédire l'avenir, il serait important de chercher les causes qui peuvent expliquer l'amplitude imposante des débits dans le bassin versant.

Il serait très intéressant de comparer l'utilisation du sol dans le bassin versant Petite Nation en regard des changements dans la ressource en eau. À l'aide d'images satellitaires ainsi que photographies aériennes il serait possible de faire l'historique de l'utilisation du sol dans le bassin versant. Il serait envisageable par la suite de faire une modélisation avec différents logiciels de cartographie qui pourrait modéliser l'évolution de l'utilisation du sol et ainsi faire le parallèle entre cette évolution et l'évolution du débit dans le bassin versant.

Cette modélisation cartographique permettrait aussi de mieux comprendre les nouveaux pôles de développement dans le bassin versant Petite Nation et ainsi de permettre à l'OBV RPNS de mieux concentrer ses interactions avec les différents groupes citoyens ainsi que les autorités concernées dans l'élaboration d'actions ciblées. Elle

permettrait aussi de mieux identifier les zones à risques lors de l'élaboration d'un plan d'action contre les inondations.

Il existe une cartographie de zones à risques pour la municipalité de la Saint-André-Avellin, mais celle-ci ne comporte qu'une modélisation sur une courte distance et elle ne prend pas en considération plusieurs éléments, comme, par exemple, la présence de constructions humaines dans le lit de la rivière ainsi que sur les rives de celles-ci, qui changent le courant naturel de la rivière à cet endroit.

Il serait opportun de produire une carte complète des zones inondables pour l'ensemble du bassin, permettant ainsi de visualiser les zones les plus à risques, peu importe si celles-ci se situent en zones habitée ou en zone forestière. Les différents acteurs pourront ainsi proposer des solutions plus ciblées tout en ayant, sous forme visuelle, l'ensemble de la problématique reliée aux crues. La même cartographie pourrait être réalisée pour les débits d'étiages. Cette cartographie pourrait aussi permettre de visualiser les zones les plus à risque d'assèchement ce qui permettrait aussi aux autorités compétentes de cibler ces zones tout en ayant un portrait de l'ensemble du bassin versant.

#### 4.4.3. Modélisation possible

Au niveau de la modélisation à l'exutoire, il serait fort important de s'intéresser à la possibilité d'une inversion de courant entre la rivière Petite Nation et la rivière des Outaouais. Si l'on regarde la cartographie du modèle numérique de terrain (MNT) du bassin versant, on peut voir qu'à l'embouchure de la rivière Petite Nation et de la rivière des Outaouais, il n'y a pas de dénivelé sur une distance relativement importante. La

possibilité que lorsque le débit de la Petite Nation diminue de façon importante, il puisse y avoir une inversion de courant causée par la puissance de la rivière des Outaouais existe. Une telle inversion de courant pourrait donner lieu à une infiltration des eaux de cette dernière dans la rivière Petite Nation. Quoique potentiellement rare, cette hypothèse devrait être évaluée et analysée par l'OBV RPNS puisque c'est à cet endroit que se trouve le parc national de Plaisance, lieu de villégiature important, en plus d'être une zone de forte concentration animale.

#### 4.5 Possibilités futures

Ce mémoire pose les fondations du savoir relatif à la ressource en eau dans le bassin versant Petite Nation. Il est maintenant possible de comprendre comment s'écoule cette ressource, quels sont ses extrêmes et quels sont les risques que ceux-ci se reproduisent. Il en résulte une meilleure compréhension tant pour les habitants que pour les différents acteurs impliqués dans la GIEBV. Ceux-ci peuvent maintenant se baser sur ce mémoire pour poursuivre d'autres types de recherche qui pourraient accroître les connaissances scientifiques sur le GIEBV.

Il serait important de voir le potentiel de ce bassin versant pour d'autres recherches scientifiques portant sur ce sujet. À cause de ses caractéristiques physiographiques uniques, de l'importance de la ressource en eau ainsi que de l'évolution constante de la ressource et de l'augmentation de l'occupation du sol, le bassin versant Petite Nation est un terrain d'étude des plus intéressants. Une étude de l'évolution des débits extrêmes en fonction de l'occupation du sol serait une voie intéressante à étudier. L'analyse des débits extrêmes étant effectuée, il ne resterait qu'à modéliser l'évolution de l'occupation du sol pour la même période temporelle avec les outils cartographiques appropriés et ainsi faire



une corrélation, s'il y a lieu, entre le développement anthropique et les changements au niveau des débits extrêmes dans le bassin versant.

Ce terrain d'étude est riche en informations scientifiques et possède des caractéristiques uniques qui lui donnent un potentiel d'étude des plus attrayant. L'OBV RPNS étant un OBV jeune, tout apport scientifique extérieur pourra l'aider dans la mise en place de plans d'action en plus de renforcer son savoir relatif au bassin versant Petite Nation. C'est dans l'optique d'augmenter le savoir relatif à la GIEBV que ce mémoire fût construit et tout apport scientifique connexe ne sera que bénéfique pour les différents acteurs impliqués.

## ANNEXE A

### A1 : Classification de Litynski

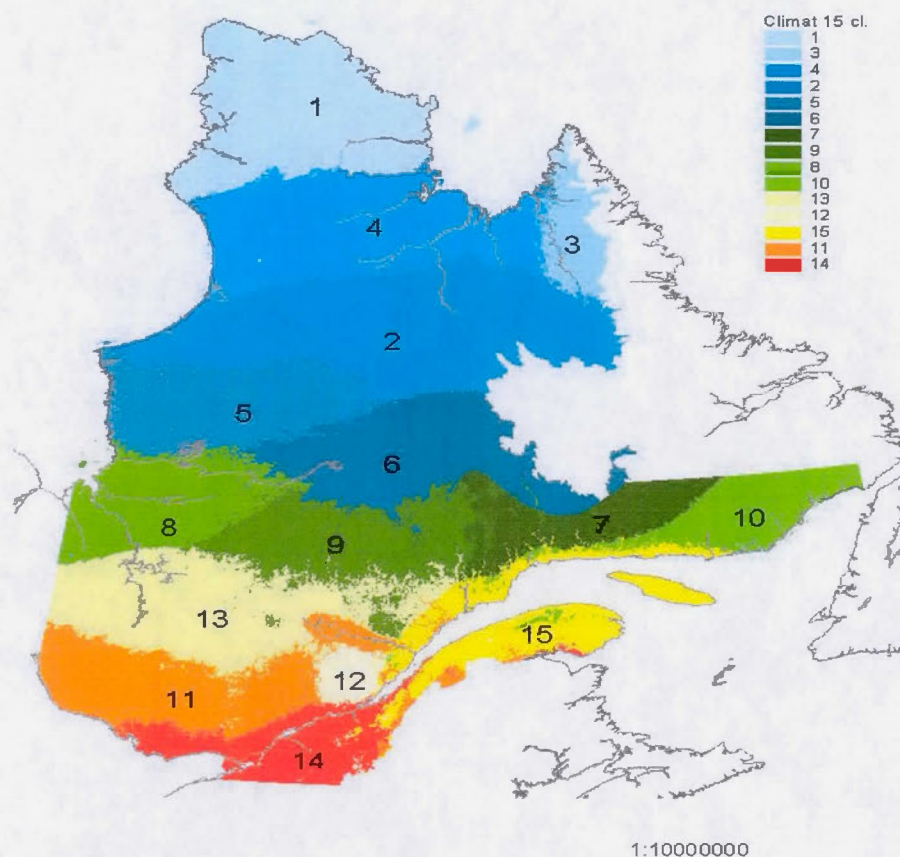
Subdivisions de la classification mondiale de Litynski (2002).

Caractéristiques sommaires des climats du Québec				
Classes selon Litynski	Région climatique	Température (°C)	Précipitation (mm)	Saison de croissance
1	1	polaire	semi-aride	très courte
2	2	subpolaire froide	modérée	très courte
3	3	polaire	modérée	Courte
4	4	polaire	modérée	très courte
5	5	subpolaire froide	modérée	Courte
6	6,7	subpolaire froide	sub-humide	Courte
7	8,9	subpolaire froide	sub-humide	Moyenne
8	10	subpolaire	humide	Courte
9	11	subpolaire douce	sub-humide	Longue
10	12,13	subpolaire	humide	Moyenne

11	14	modérée	sub-humide	Longue
12	15	subpolaire	sub-humide	Moyenne

## ANNEXE A

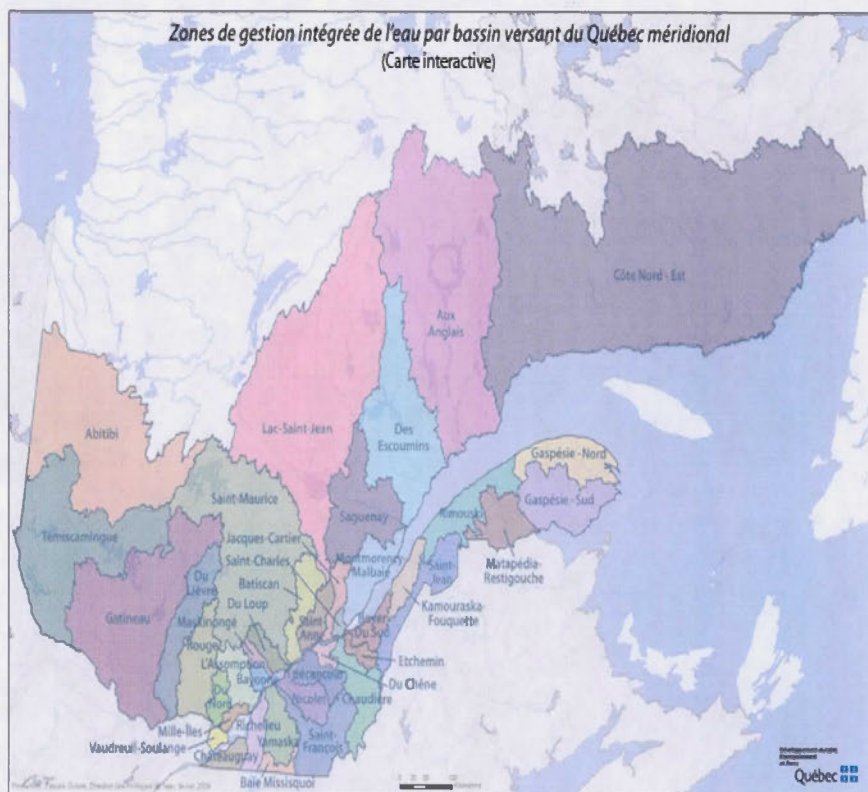
A2 : Carte de la classification de Litynski (2002)





## ANNEXE B

### Cartographie des bassins versants du Québec (MDDEFP 2010)



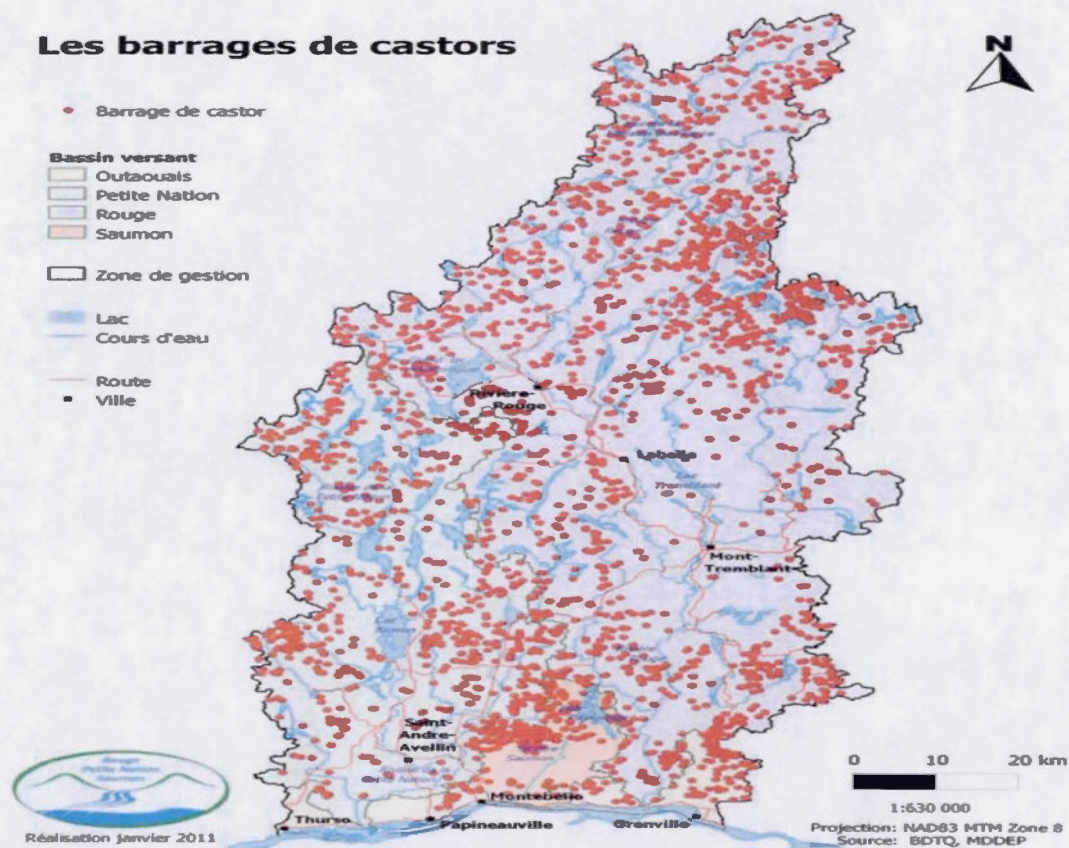
## ANNEXE C

### Classification des barrages présents dans le bassin versant Petite Nation

Barrages de la zone de gestion (RPNS 2011)	
Utilisation	Nombre
Agriculture	3
Anciennement flottage	0
Contrôle des inondations	0
Faune	5
Hydroélectricité	0
Pisciculture	1
Prise d'eau	0
Récréatif et villégiature	24
Régularisation	3
Réserve incendie	0
Autre ou inconnu	6
Total	42

## ANNEXE D

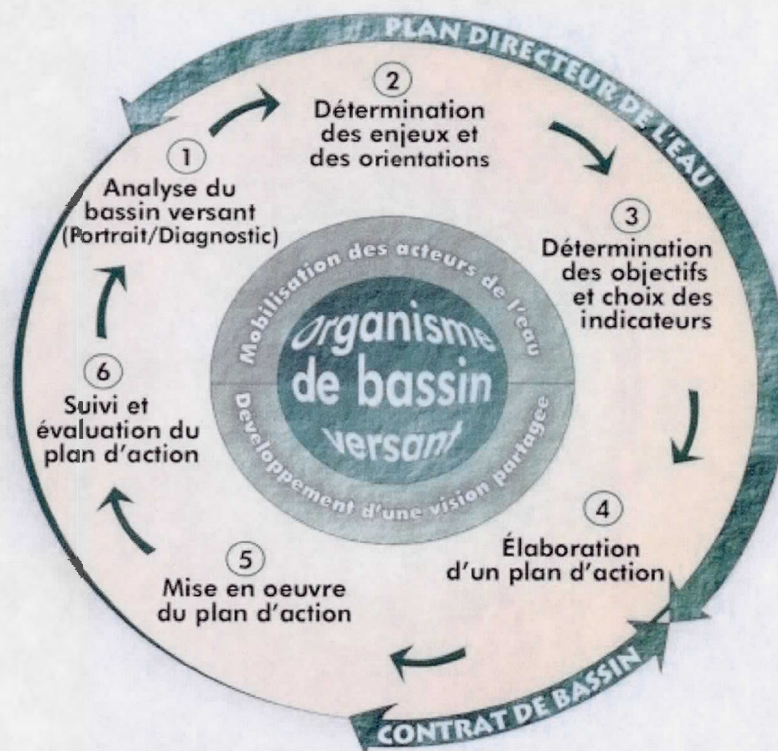
# Cartographie des barrages de castors répertoriés dans le bassin versant Petite Nation (RPNS 2012)





## ANNEXE E

Plan directeur de l'eau en six étapes ( Gangbazo 2011)





## ANNEXE F

Tableau des débits maximums pour la période 1969-2007 (CEHQ 2011)

Années	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Annuel
1969	9,37	10,5 0	12,7 0	129,0 0	123,0 0	50,7 0	17,7 0	14,2 0	7,53	3,54	9,94	15,0 0	129,0 0
1970	30,3 0	12,5 0	10,6 0	92,60	116,0 0	43,3 0	17,9 0	10,6 0	4,59	6,46	21,0 0	22,1 0	116,0 0
1971	17,9 0	11,5 0	10,6 0	67,70	90,60	45,9 0	17,7 0	12,4 0	9,12	9,80	8,13	14,6 0	90,60
1972	15,5 0	23,9 0	28,3 0	56,00	140,0 0	66,0 0	61,2 0	38,2 0	31,7 0	25,1 0			140,0 0
1973	26,2 0	27,6 0	61,2 0	73,60	64,80	43,0 0	32,0 0	15,6 0	11,3 0	6,97	9,40	26,1 0	73,60
1974	20,2 0	21,0 0	20,2 0	113,0 0	120,0 0	80,1 0	39,4 0	15,1 0	4,53	3,94	35,4 0	40,5 0	120,0 0
1975	29,4 0	17,2 0	20,7 0	95,10	116,0 0	38,8 0	20,9 0	5,47	3,60	4,05	24,4 0	23,2 0	116,0 0
1976	16,3 0	14,0 0	44,5 0	122,0 0	96,30	53,2 0	16,9 0	10,7 0	8,44	14,6 0	12,9 0	11,9 0	122,0 0
1977	11,4 0	10,3 0	51,0 0	81,80	79,30	15,7 0	11,4 0	5,69	5,66	21,6 0	31,8 0	30,9 0	81,80
1978	25,2 0	19,8 0	12,9 0	99,10	102,0 0	34,8 0	13,1 0	5,04	3,85	3,34	9,36	7,15	102,0 0
1979	9,90	9,75	49,1 0	85,40	84,40	42,1 0	21,2 0	15,0 0	18,4 0	23,7 0	34,8 0	39,5 0	85,40
1980	30,9 0	15,9 0	25,4 0	76,20	66,30	24,8 0	8,12	9,02	17,3 0	52,2 0	53,0 0	28,9 0	76,20
1981	14,8 0	69,0 0	72,6 0	92,30	50,80	44,9 0	33,2 0	10,3 0	26,2 0	21,0 0	32,0 0	25,1 0	92,30

1982	15,9 0	9,97	12,1 0	91,10	91,10	28,6 0	10,9 0	5,25	3,97	4,75	19,9 0	30,5 0	91,10
1983	35,5 0	28,4 0	33,5 0	60,00	107,0 0	63,5 0	19,9 0	6,83	3,24	3,79	20,4 0	16,0 0	107,0 0
1984	13,8 0	24,6 0	25,6 0	106,0 0	83,60	36,4 0	30,3 0	29,5 0	25,6 0	10,5 0	11,3 0	27,0 0	106,0 0
1985	24,8 0	12,9 0	32,4 0	115,0 0	115,0 0	25,7 0	9,75	8,13	4,63	3,56	14,1 0	14,4 0	115,0 0
1986	13,8 0	10,1 0	27,1 0	67,60	45,60	44,2 0	20,3 0	15,8 0	20,6 0	17,7 0	14,6 0	14,3 0	67,60
1987	13,2 0	9,52	41,0 0	75,00	37,50	28,8 0	21,0 0	10,4 0	6,53	11,2 0	30,1 0	29,7 0	75,00
1988	21,1 0	12,8 0	15,8 0	80,30	65,40	26,2 0	10,7 0	19,4 0	18,8 0	36,1 0	66,3 0	44,0 0	80,30
1989	15,8 0	12,0 0	28,9 0	53,20	52,50	37,0 0	25,6 0	8,00	5,79	11,8 0	46,8 0	43,6 0	53,20
1990	17,8 0	17,7 0	41,2 0	69,70	69,20	29,7 0	27,0 0	17,0 0	6,74	18,9 0	33,3 0	39,9 0	69,70
1991	33,0 0	16,4 0	26,9 0	119,0 0	88,20	24,6 0	6,22	4,19	3,30	12,7 5	20,2 7	16,5 4	119,0 0
1992	17,0 0	12,1 0	21,0 0	95,44	98,41	24,9 5	16,1 8	21,1 3	14,5 9	14,6 0	34,7 4	30,9 5	98,41
1993	20,5 9	14,8 0	17,0 1	108,8 0	98,60	33,9 1	28,5 0	8,89	8,63	27,4 7	41,5 2	46,5 2	108,8 0
1994	24,8 0	16,5 0	11,3 1	79,06	79,82	49,5 5	37,2 7	49,8 5	20,7 9	9,89	16,3 6	21,2 8	79,82
1995	42,9 4	38,0 0	38,8 9	38,77	29,46	31,8 4	14,0 5	6,65	4,28	11,4 0	43,9 2	35,9 8	43,92
1996	26,7 0	35,2 4	34,6 1	121,2 0	123,3 0	38,8 8	24,4 7	18,4 5	6,27	8,03	28,0 3	28,6 6	123,3 0
1997	28,9 0	24,5 0	22,2 0	102,4 0	118,5 0	41,5 9	12,9 1	6,33	4,67	3,79	9,85	10,1 3	118,5 0
1998	12,7 1	11,1 0	59,3 7	122,7 0	52,02	18,0 6	18,6 7	8,80	3,97	3,57	3,92	10,2 0	122,7 0
1999	14,6 0	16,3 0	17,3 0	80,30	67,16	18,0 1	11,1 1	5,38	9,88	30,1 8	30,3 5	39,7 5	80,30
2000	26,4 0	16,4 0	35,3 5	64,61	50,86	40,5 6	30,5 9	18,5 7	14,7 8	13,7 2	11,1 3	19,5 0	64,61
2001	18,7 0	13,3 2	12,8 6	64,10	63,08	23,1 5	19,1 8	8,96	6,72	12,1 8	26,8 9	41,1 8	64,10

2002	25,2 7	11,8 0	22,6 5	104,3 0	87,48	48,2 3	38,5 6	13,8 9	4,74	2,55	3,62	5,19	104,3 0
2003	5,49	5,34	12,7 3	61,91	66,81	33,7 4	8,95	24,1 3	18,4 3	41,0 7	71,2 8	70,8 7	71,28
2004	41,7 9	22,0 7	23,7 6	62,73	66,32	38,6 9	12,3 3	8,90	23,5 8	18,8 1	13,4 2	23,5 3	66,32
2005	24,2 8	18,2 0	11,5 7	91,28	91,60	33,2 8	26,7 2	7,50	7,44	13,0 9	33,8 6	38,2 7	91,60
2006	25,9 6	24,6 9	28,6 9	75,80	59,14	42,3 7	20,6 8	24,5 5	27,9 8	55,0 6	54,4 2	51,6 9	75,80
2007	29,4 1	23,6 5	17,2 0	76,90	76,51	26,6 3	16,5 6	16,1 5	8,45				76,90

## RÉFÉRENCES

ABDERRHAMAN, A. (1993). *Modélisation et gestion des ressources en eau évaluation des impacts des débits extrêmes dans le bassin versant d'Ourika (Haut-Atlas, Maroc) : probabilités, grandeurs et coût*, (Mémoire de maîtrise), Université du Québec à Montréal, Département de Géographie 252 pages + XV.

ANCTIL F. LAROCHE W. & HOANG V.O. 2000. *Analyse régionale des étiages 7 jours de la province de Québec*. Water Quality Resources Journal of Canada 35, 125-46

BAPE (2000) *L'eau, ressource à protéger, à partager, et à mettre en valeur*. Québec, Bureau d'audiences publiques sur l'environnement, I et II 42 p.

BELIVEAU, J. (2006). *Analyse fréquentielle multivariée de la pointe, du volume et de la durée de la crue*. Québec, Université Laval, Département de Mathématiques, mémoire de maîtrise, 50 pages

BELZILE L., BERUBE P., HOANG V.D., LECLERC M.. (1997) *Méthode écohydrologique de détermination des débits réservés pour la protection des habitats du poisson dans les rivières du Québec*, rapport présenté par l'INRS-Eau et le Groupe-conseil Génivar inc. au Ministère de l'Environnement et de la Faune du Québec et à Pêches et Océans Canada, 1997, 91 pages



BERRAJA, M.(2010). *Gestion des ressources hydrologiques* : note de cours, Géo8601  
Montréal, Département de géographie, UQAM, 2010

BOBÉE, B, FORTIN, V. (1999). Hyfran 1.0 logiciel hydrologique : *Chaire en hydrologie statistique CRNSG/Hydro-Québec*), INRS-Eau, Terre et Environnement, Université du Québec, Québec.

BIBEAULT, J.-F. (2000) *Limites à la gestion intégrée de l'eau au Québec : tension entre l'intégration et la fragmentation du territoire*. Montréal, thèse, Faculté des études supérieures, Ph. D. Aménagement, Université de Montréal, UMI.

BOISVERT R. (1969). *Étude des débits d'étiage en hiver et du comportement de la courbe de tarissement*, septembre 1969, 91 pages.

BRUN, A, LASSERRE, F.(2012). *Politique nationale de l'eau au Québec : constat et perspectives*, Actes du colloque La gouvernance de l'eau dans les Amériques, VertigO – La revue en sciences de l'environnement, Hors-série 7, juin 2010, [En ligne].  
<http://vertigo.revues.org/9686>. (Page consultée le 30 septembre 2012)

BRUN, A, LASSERRE, F. (2006). *Les politiques de l'eau. Grands principes et réalités locales*. Québec, Presses de l'Université du Québec, 438 p.

CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC. (2005). Banque de données hydriques, niveau d'eau et débits. Ministère du Développement durable, de

l'Environnement et des Parcs, Québec, [En ligne].

<http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/default.asp>. (Page consultée le 26 juin 2012).

CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ). (2008). *Répertoire des barrages*. Gouvernement du Québec. [En ligne].

<http://www.cehq.gouv.qc.ca/barrages/default.asp>. (Page consultée le 23 mai 2012).

CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ). (2008). *Suivi hydrologique de différentes stations hydrométriques*. Les régions hydrographiques. Gouvernement du Québec. [En ligne].

<http://www.cehq.gouv.qc.ca/suivihydro/ListeStation.asp?regionhydro=07&Tri=Non>. (Page consultée le 26 juin 2012).

CENTRE D'EXPERTISE HYDRIQUE DU QUÉBEC (CEHQ). (2011). *Estimation des débits d'étiages*. Gouvernement du Québec. [En ligne].

<https://www.cehq.gouv.qc.ca/debit-etiage/Tableau-debits-etiage-stations-hydrometriques.pdf> (Page consultée le 24 novembre 2012)

CHAIRE EN HYDROLOGIE STATISTIQUE, CRSNG/Hydro-Québec/ALCAN (1998).

*HYFRAN, version 1.2 bêta 1.3*, Québec, Institut National de la Recherche Scientifique-Eau Terre et Environnement, Université du Québec.

CHOW, V. T. (1964). *Handbook of applied hydrology: a compendium of water- resources technology*. Vol 1. Illinois, McGraw-Hill, 1467 p

GANGBAZO, G. (2000). *Relations empiriques entre les utilisations du territoire agricole et la qualité de l'eau des rivières*. Vecteur environnement, Vol. 33, No. 2, p. 42-49.

GANGBAZO, G., BERNARD, C. et CÔTÉ, D. (1996) *effets de l'épandage du lisier de porc sur les eaux de ruissellement et de drainage*. AGOSOL, Vol. ix, p. 46-51.

GANGBAZO, G. (2011). *Guide pour l'élaboration d'un plan directeur de l'eau : un manuel pour assister les organismes de bassin versant du Québec dans la planification de la gestion intégrée des ressources en eau.*, Québec : Ministère du Développement Durable, de l'Environnement et des Parcs.

GERARDIN, V. et D. McKenney, 2001. Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec. Direction du patrimoine écologique et du développement durable, ministère de l'Environnement, Québec.

GERARDIN, V. et D. MCKENNEY, 2001. Une classification climatique du Québec à partir de modèles de distribution spatiale de données climatiques mensuelles : vers une définition des bioclimats du Québec. Direction du patrimoine écologique et du développement durable, ministère de l'Environnement, Québec.

HACHÉ, M., PERRAULT, L., RÉMILLARD, L. et BOBÉE, B. (1999). *Méthodologie de sélection des distributions statistiques : Application au bassin hydrographique du Saguenay – Lac Saint-Jean*. Revue canadienne de Génie civil, Québec, 26(2) : 216–225.

HÉMISPHERE CONSULTANT. (2005). L'état de santé du Lac Simon. Montréal.  
Récupérée de <http://www.apls.ca/wp-content/uploads/2010/06/HCI-EaudulacSimon.pdf>

KNAPP, B.J. (1979). Elements of geographical hydrology., Allen & Unwin, Boston. 85 p.

LABORDE, J.P. (2009). Éléments d'hydrologie de surface. Département  
Hydroinformatique et Ingénierie de l'Eau. Université de Nice – Sophia Antipolis, Nice.

202 p.

LABORDE, J.P. (2000) Éléments d'hydrologie de surface, Université de Nice Sophia-Antipolis, NICE, 200 pages.

LANDRY, B. et MERCIER, M. (1992). *Notions de géologie*. Modulo, Mont-Royal,  
3<sup>e</sup> édition, 565 p

LASSERRE, F. (2005) Transferts massifs d'eau. Outils de développement ou instrument de pouvoir?\_. Québec, Presses de l'Université du Québec, 610 p.



LASSERRE, F. (2009), Droit de l'eau et regard de géographe : une nécessaire complémentarité?, p.179-196, dans Patrick Forest (dir.), Géographie du Droit. Épistémologie, développement et perspectives, Presses de l'Université Laval, Québec, 286 p.

LINDSLEY, R. et AL (2005). Hydrology for Engineers. McGraw-Hill,. Etats-Unis. 482 p.

LITYNSKI, J., (1988). Climat du Québec d'après la classification numérique. Carte de format 100 x 130 cm. Éditions Gamma.

LLAMAS, J. (1993). Hydrologie générale : Principes et applications. 2e éd. Boucherville, Gaëtan Morin, 527 p

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, (2002). *L'eau, la vie, l'avenir : politique nationale de l'eau*, Québec, 94 p. [En ligne]. <http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/politique/politique-integral.pdf>. (Page consultée le 24 novembre 2012).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, (2006). Loi sur le développement durable. Québec. [En ligne]. <http://mddccl.goUv.qc.ca/dcvcloppcmcnt/loi.htm> (Page consultée le 23 octobre 2013)

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, (2007). *Prendre son lac en main. Guide d'élaboration d'un plan directeur de bassin versant de lac et adoption de bonnes pratiques*. Première version. 140 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, (2009). *Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection*. Québec.[En ligne].  
<http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/protection/index.htm>. (Page consultée le 24 janvier 2012).

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, (2009). *Lignes directrices pour la mise en œuvre du redécoupage territorial du Québec méridional en zones de gestion intégrée de l'eau*. 12 p.

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS (2009). *Projet de loi no 27 : Loi affirmant le caractère collectif des ressources en eau et visant à renforcer leur protection*. Québec, 31 p. [En ligne].  
<http://www.assnat.qc.ca/fra/39legislature1/Projets-loi/Publics/09-f027.htm>. (Page consultée le 24 juin 2013)

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT DE LA FAUNE ET DES PARCS (2010a). *Qualité des eaux de la rivière Outaouais -1979-1994. Rivière des Outaouais, secteur de la Rivière Rouge (secteur E)*, [En ligne].  
[http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eco\\_aqua/outaouais/secteur\\_e.htm](http://www.mddep.gouv.qc.ca/eau/eco_aqua/outaouais/secteur_e.htm). (Page consultée le 23 octobre 2013)

MINISTÈRE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE, DE L'ENVIRONNEMENT ET DES PARCS, (2013). Normales climatiques du Québec 1981-2010. . [En ligne].

<http://www.mddep.gouv.qc.ca/climat/normales/sommaire.asp?cle=7035110>

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET DE LA FAUNE DU QUÉBEC, (1996). Qualité des eaux du bassin de la rivière des Outaouais, 1979-1994, Québec, Ministère de l'Environnement et de la Faune, Direction des écosystèmes aquatiques, rapport QE-105/1, Envirodoq EN960174, 88 p., 7 annexes.

MINISTÈRE DE L'ENVIRONNEMENT ET STATISTIQUE CANADA. *Recensement 2006*, Ottawa. 2006. [En ligne]. <http://www12.statcan.ca/census-recensement/2006/dp-pd/prof/92-591/index.cfm?Lang=F> (Page consulté le 22 octobre 2012).

MINISTÈRE DES RESSOURCES NATURELLES (MRN), (2006). Base de données topographiques du Québec (BDTQ) échelle 1/20 000.

MINISTÈRE DE LA SÉCURITÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC. (2013) Surveillance de la crue des eaux. [En ligne].  
<http://geoegl.msp.gouv.qc.ca/adnv2/tableaux/TableauStation.php?id=040406> (Page consulté le 23 octobre 2013)

MOUMI, M. (1988). Mode d'utilisation, évaluation, et aménagement des ressources en eau, à la montagne cas de l'Ourika, (Maroc). Montréal, Université du Québec à Montréal, Département de Géographie, mémoire de maîtrise, 290 pages + XVIII.

MRC PAPINEAU, (1997). *Schéma d'aménagement révisé*. Papineauville, Québec.

MRC PAPINEAU (2001). *Atlas environnemental de la MRC de Papineau*, 34 pages pdf.

MRC PAPINEAU (2004). *Plan de développement intégré de la rivière Petite Nation : la Petite Nation, une rivière..., une vallée, une fierté*, 50 pages pdf.

MUSY A. et HIGY C., 2004, Hydrologie (1. Une science de la nature), Presses polytechniques et universitaires romandes, (21), 314 p.

MUSY, A. (2005) Hydrologie générale. [En ligne].

<http://echo2.epfl.ch/e-drologie/>. Page consultée le 03 novembre 2010.

NANTEL, E. (2006). *Élaboration d'une méthode d'estimation des vulnérabilités historiques des approvisionnements en eaux potable au Québec*. (Mémoire de maîtrise). INRS.

NOURY, S (2002). *Caractérisation des conditions naturelles et anthropiques du bassin versant l'Acadie et leurs impacts sur le régime hydrologique*. (Mémoire de maîtrise). UQAM.



ORGANISME DE BASSIN VERSANT ROUGE PETITE NATION ET SAUMON (OBV RPNS), (2012). Diagnostic des bassins versants des rivières Rouge, Petite Nation et Saumon, 136p.

ORGANISME DE BASSIN VERSANT ROUGE PETITE NATION ET SAUMON (OBV RPNS), (2013). Rapport financier annuel, exercice terminé le 31 mars 2013, 4p.

ORGANISME DE BASSIN VERSANT ROUGE PETITE NATION ET SAUMON (OBV RPNS) (2010) Rapport d'activités du projet d'aménagement des bandes riveraines, 48 p.

ORGANISME DE BASSIN VERSANT ROUGE PETITE NATION ET SAUMON (OBV RPNS) (2011). Rapport d'activités du projet d'aménagement des bandes riveraines, 48 p.

PERREAULT, S. et A. MOUKHSIL, (2004). *Territoire de la Province de Grenville*. Ministère des Ressources naturelles, Québec. 2004, p. 45-51.

PLAMONDON, A.P., (1993). Influence des coupes forestières sur le régime d'écoulement de l'eau et sa qualité, Université Laval et Ministère des Forêts du Québec, Document C-47, 179 p.

PRESS, S. J. (2003). *Subjective and Objective Bayesian Statistics*. Wiley, New York, Deuxième édition, 600 p

PRÉVIL, Carlo, SAINT-ONGE, B, WAAUB, JP. (2004). Aide au processus décisionnel pour la gestion par bassin versant au Québec : études de cas et principaux enjeux. Cahiers de Géographie du Québec, vol. 48, no 134 (septembre), p. 209-238.

SOCIÉTÉ DE LA FAUNE ET DES PARCS. (2000). *Plan directeur du Parc national du Mont-Tremblant*. Québec, 53 p.

ROCHE, M., *Hydrologie de surface*, Paris, Gauthier-Villars éditeur, 1963. 431 p.

SÉCURITÉ CIVILE. Colloques régional sur la sécurité civile. Organisation régionale de la sécurité civile (2010). [En ligne].  
[http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite\\_civile/colloques/colloques\\_regionaux/Outaouais/Petite-nation.pdf](http://www.securitepublique.gouv.qc.ca/fileadmin/Documents/securite_civile/colloques/colloques_regionaux/Outaouais/Petite-nation.pdf). (Page consultée le 23 avril 2012)

Wilson, C.V. (1973). Le climat du Québec en deux parties/deuxième partie : Mise en application des renseignements climatologiques. Études climatologiques II, Service de J'Environnement atmosphérique, Ottawa.

YEVEJVICH, V. (1972). Probability and statistics in hydrology. Fort Collins, Water resources publication, 302 p.

YOUSSEF, S. (2011). L'érosion hydrique au Maghreb, étude d'un cas : le bassin versant de l'oued Barbara (Tunisie septentrionale). Montréal, Université du Québec à Montréal, Département de Géographie, thèse de maîtrise, 130 pages